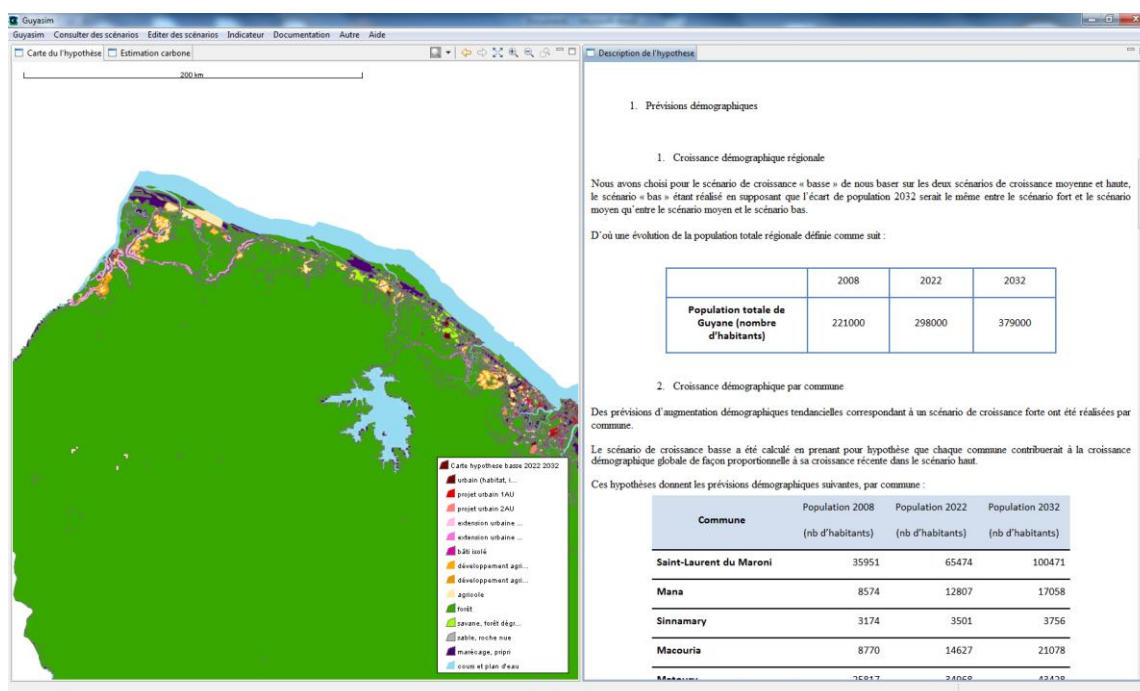


GuyaSim

2011-2014 : un simulateur pour explorer l'impact des scénarios de développement de la Guyane sur les services des écosystèmes forestiers



Responsable : Vivien Rossi

Rapport Final aout 2014

Table des matières

1. Rappel : description technique du projet.....	3
Contexte du projet	3
Objectifs du projet.....	3
2. Bilan Global.....	3
Les recrutements :.....	4
Formation d'étudiants :	4
Comités de pilotage.....	5
3. Bilan par activité	7
Activité 1 : Spatialisation des services éco-systémiques à l'échelle de la forêt guyanaise	7
1.1 Recherche des indicateurs de services éco-systémiques adaptés à la forêt guyanaise	7
1.2 Vers une meilleure caractérisation des habitats forestiers guyanais	12
Activité 2 - Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales :	13
2.1 : Caractérisation des modes d'occupation de l'espace	13
2.2 : Identification, validation et caractérisation des scénarios.....	15
2.3 : Cartographie prospective des modes d'occupation de l'espace.....	15
Activité 3 - Scénarios d'impacts des changements climatiques pour les forêts guyanaise	19
3.1 Modélisation de la dynamique forestière des communautés d'espèces basée sur les traits fonctionnels et intégrant les variables climatiques.....	19
3.2 Prédiction de l'évolution des habitats selon différents scénarios de changements climatiques	23
Activité 4 - Réalisation du logiciel de simulation.....	26
4.1 Rédaction du cahier des charges.....	26
4.2. Développement d'un prototype d'interface	26
4.3. Développement du moteur de logiciel.....	29
4. Communication, promotion et valorisation de l'image des programmes européens	32
Supports de communication	32
Actions de communication grand public.....	32
Communications scientifiques	33
Communications dans des conférences.....	33
Articles dans des revues internationales à facteur d'impact	34
Rapports : activités, stages et thèse.....	34
Annexes	37

1. Rappel : description technique du projet

Contexte du projet

La Guyane est une des régions de l'Union Européenne ayant la plus importante croissance démographique (population + 4%/an entre 1999 et 2006, source INSEE) et économique (PIB +3.1 %/an entre 1993 et 2001, source INSEE). Ce développement rapide va imposer aux décideurs guyanais de faire des choix déterminants sur l'aménagement de leur territoire dans les années à venir. La forêt tropicale humide occupe actuellement plus de 80% du territoire (source ONF-FAO). Dès lors, la quasi-totalité des nouvelles implantations de zones urbaines, commerciales, industrielles ou agricoles se feront au détriment de la surface forestière actuelle. Or, les risques environnementaux liés aux changements globaux font des forêts tropicales humides un des acteurs essentiel dans la stratégie mondiale d'atténuation du réchauffement climatique. En effet, la capacité des forêts à stocker le carbone en fait un outil de régulation des émissions de CO₂. La valeur potentielle des forêts vue comme un stock ou un puits de carbone est généralement supérieure à celle des forêts vue comme fournisseurs de biens et services.

Pour la gouvernance de leur territoire, les décideurs guyanais devront donc conjuguer deux objectifs *a priori* antagonistes, développer leur territoire en aménageant la forêt tout en préservant les services environnementaux qu'elle rend. Il est donc important de trouver un compromis entre ces deux objectifs. Ce compromis doit partir du constat que le massif forestier guyanais n'est pas homogène, et qu'une typologie peut en être faite. De plus, ces différents types forestiers ne devraient vraisemblablement pas réagir de la même façon aux changements climatiques en cours. Ainsi les conséquences à long terme des conversions des différents types forestiers ne seront pas identiques.

La prise en compte dans les décisions d'aménagements du territoire de cette diversité de valeurs, de potentiels et de réactivités des types forestiers permettrait de valoriser au mieux les richesses naturelles de la Guyane tout en préservant au mieux ses services forestiers environnementaux.

Objectifs du projet

L'objectif principal de ce projet est construire un « simulateur de la Guyane » permettant de quantifier et de cartographier les évolutions probables d'indicateurs de services environnementaux, tels que le stock de carbone, la beta-biodiversité ou le fonctionnement du sol selon différents scénarios prédéfinis. Nous le ferons en mutualisant et en complétant les résultats des travaux de scientifiques obtenus depuis plusieurs années par les différents organismes de recherche sur la forêt guyanaise. Cet outil aura une double fonctionnalité, d'une part il constituera un outil d'aide à la décision permettant d'optimiser l'aménagement et le développement du territoire, d'autre part il fournira un laboratoire virtuel aux scientifiques guyanais permettant de tester plus facilement certaines hypothèses écologiques.

2. Bilan Global

L'accord de subvention du projet GuyaSim nous a été notifié par le SGAR le 11 avril 2011 et a été officialisé par la signature de la convention le 30 août 2011. Certains travaux relatifs à ce projet, notamment les activités de recherche en modélisation, ont cependant démarré avant 2011.

Les activités se sont déroulées conformément au planning établi. Des conventions ont été signées entre le Cirad et les prestataires : CNRS, ONF et SOLICAZ. Le CNRS s'est substitué à AgroParisTech, qui devait initialement réaliser la prestation « Développement outil aide à la décision ». AgroParisTech n'étant finalement pas en mesure de réaliser cette prestation, le Cirad a dû recruter un ingénieur informaticien pour réaliser ce travail sur le financement prévu pour le « CDD Bdd + missions terrains ». Afin de conserver le cadrage budgétaire du projet, l'activité de gestion de la Bdd du réseau Guyafor et des missions de terrain a dû être sous-traitée. De par son expérience similaire pour la gestion du site des Nouragues, le CNRS a été choisi pour réaliser cette prestation.

Les recrutements :

- Marianne Sanlaville, états des lieux des projets d'aménagement en Guyane et caractérisation des principales, Volontaire Service Civique, 13 mois, du 1^{er} octobre 2011 au 1^{er} novembre 2012
- Thomas Dolley, réalisation du logiciel d'aide à la décision, CDI Cirad, Ingénieur Informaticien, 22 mois à temps plein sur le projet, à partir du 13 février 2012
- Aurélie Dourdain, réalisation des cartes de biodiversité, Volontaire Service Civique, 12 mois à temps plein à partir du 15 mai 2013

Formation d'étudiants :

- Hélène Fargeon, Réponse des Forêts exploitées de Guyane Française au stress hydrique, Stagiaire école Polytechnique, 3.5 mois à partir du 14 avril 2014
- Anaïs Gorel, Survie et accroissement des juvéniles de 25 espèces d'arbres tropicaux en fonction du stade ontogénétiques et des trouées d'exploitation forestières, Stagiaire M2 Ecologie de Forêts Tropicales, Université Antilles-Guyane, 5 mois à partir du 1^{er} février 2013
- Sophie Lefevre, Comparaison de la tolérance à la sécheresse des espèces selon leur guildes entre l'Amérique latine et l'Afrique, Stagiaire M2 Biodiversité Ecologie Evolution, Université de Montpellier 2, 5 mois (dont 2 mois à Montpellier à l'UR B&Sef) à partir du 4 février 2013
- Elodie Alliée, L'assemblage des communautés d'arbre de Guyane Française, Stagiaire M2, 5 mois du 1^{er} février 2012 au 1^{er} juillet 2012
- Gustave Coste, Spatialisation des estimations de biomasse, Stage de césure ingénieur Montpellier SupAgro, 6 mois du 1^{er} octobre 2011 au 1^{er} avril 2012
- Jules-Maurice Madkau, Mise à plat des correspondances entre noms vernaculaires et identités botaniques des espèces présentes sur le site de Paracou (Guyane Française) Stagiaire M1 Ecotrop, Université des Antilles-Guyane mois à partir du 9 janvier 2012
- Armelle Maurice, Forest managers, decision-makers and practitioners : how do they value the current French Guianan protected network ?, Stagiaire M2 Ecologie de Forêts Tropicales, Université Antilles-Guyane, 5 mois à partir du 9 janvier 2012
- Kejun Zou, Effets des variations pluviométriques sur la croissance d'essences commerciales, Stagiaire M1 AgroParisTech, 4 mois à partir du 15 avril 2012

- Mélaïne Aubry-Keintz, Impact des variations climatiques sur la dynamique des peuplements forestiers guyanais, Doctorante Université Antilles-Guyane, 3 ans à partir du 1^{er} octobre 2011
- Charles Ayotte-Trépanier, modèles de mortalité avec covariables incertaines ; Stagiaire M2 Biostatistique, Université de Montpellier 2, 4 mois à partir du 15 février 2011
- Quentin Molto, Quantification des incertitudes des estimations de la biomasse de la forêt guyanaise à l'échelle du territoire, Doctorant Université Antilles-Guyane, 1^{er} novembre 2009 au 14 décembre 2012

Tous ces étudiants ont réalisé leur stage en Guyane à Kourou au sein de l'UMR Ecologie de Forêts de Guyane.

Comités de pilotage

- Le premier comité de pilotage s'est tenu à la Cité Administrative Régionale le 20 septembre 2011 de 10h à 12h.

Personnes présentes : C. Baraloto (Inra-Ecofog), D. Binet (ONF), L. Blanc (Cirad-Ecofog), V. Blanfort (Cirad), I. Bonjour (MFBG/CCIG), O. Brunaux (ONF), E. Brunstein (Solicaz), A. Bruyère (EPAG), A. Carpentier (DEAL), L. Coïc (DRRT), C. Charron (IRD), G. Cornu (Cirad), P. Courtiade (ADEME), O. Damone (Guyane Première), A.-M. Domenach (Solicaz), V. Dos Reis (Kawata), S. Guitet (ONF R&D), B. Hérault (UAG-Ecofog), L. Kelle (WWF), N. Lama (CCCL), J. Lefol (Région Guyane), Q. Molto (UAG-Ecofog), S. Mondesir (Conseil Général), A. Moore (Cirad-Ecofog), S. Pons (ADEME), M. Putterie (DEAL), J.-C. Roggy (Inra-Ecofog), F. Roubaud (Guyane Technopole), V. Rossi (Cirad-Ecofog), M. Sagne (Région Guyane), H. Schimann (Inra-Ecofog), H. Sider (Région Guyane) et N. Surugue (PAG).

Déroulement de la réunion : Après le mot d'accueil d'Hélène Sirder, 2^{ème} vice-présidente du Conseil Régional, les responsables des activités du projet ont présenté leur programme puis ont répondu aux questions du public. Le compte rendu est en annexe et est accessible à l'adresse : <http://www.ecofog.gf/spip.php?article429>

- Le deuxième comité de pilotage s'est tenu à la Cité Administrative Régionale le 20 septembre 2012 de 9h à 12h.

Personnes présentes : C. Baraloto (Inra-Ecofog), V. Blanfort (Cirad-Selmet), I. Bonjour (MFBG/CCIG), C. Charron (IRD), G. Cornu (Cirad-B&SEF), N. De Pracontal (Gepog), T. Dolley (Cirad-Ecofog), N. Durupt (Epag), A.-M. Domenach (Solicaz), D. Fournier (DRRT), B. Hérault (UAG-Ecofog), J.-M. Hyasine (Commune de St George), L. Kelle (WWF), J. Le Fol (Région Guyane), F. Miss (ONF), B. Ouliac (Région Guyane-SRI), J.-C. Roggy (Inra-Ecofog), V. Rossi (Cirad-Ecofog), B. Ruelle (Audeg), J.-M. Salles (CNRS-Lameta), M. Sanlaville (Cirad-Ecofog), F. Seyler (IRD), L. Verneyre (Deal), M. Villetard (Deal), M. Wirtensohn (Deal)

Déroulement de la réunion : Vivien Rossi a ouvert la réunion en précisant le programme et les attentes pour ce comité. Il a expliqué que plus de temps allait être consacré aux activités

2 et 4 lors de ce comité. L'activité 2 étant quasiment terminée, c'est l'occasion de faire un bilan des résultats obtenus. Pour l'activité 4, l'année prochaine sera déterminante. Il est donc essentiel de s'accorder à présent sur plusieurs points. Le compte rendu est en annexe et est accessible à l'adresse : <http://www.ecofog.gf/spip.php?article429>

- Le troisième comité de pilotage qui a consisté en une restitution publique finale, s'est tenu à la Cité Administrative Régionale le 13 mai 2014 de 9h à 12h30.

Personnes présentes : M. Aubry-Kientz (UAG-Ecofog), C. Baraloto (Inra-Ecofog), D. Bazil (Conseil général-SAEER), I. Bonjour (MFG/CCIG), O. Brunaux (ONF), C. Charron (IRD), G. Cornu (Cirad-B&SEF), P. Courtiade (Ademe), C. Dezechache (UAG-Ecofog), R. Dhommé (Ademe-Réseau Rural), A. Dourdain (Cirad-Ecofog), T. Dolley (Cirad-DSI), N. Durupt (Epag), A.-M. Domenach (Solicaz), R. Eve (Région Guyane-SIG), H. Fargeon (UAG-Ecofog), Y. Goulamoussène (UAG-IRD), B. Hérault (Cirad-Ecofog), S. Mondésir (Conseil général-SAEER), S. Pons (Ademe), B. Ouliac (OREDD), V. Rossi (Cirad-B&SEF), B. Ruelle (Audeg), H. Sirder (Région Guyane-2ème vice-présidente), F. Taberlet (WWF), L. Verneyre (Deal), M. Villetard (Deal), M. Wirtensohn (Deal)

Déroulement de la réunion : Après le mot d'accueil d'Hélène Sirder, 2ème vice-présidente du Conseil Régional, Vivien Rossi a ouvert la réunion en rappelant les objectifs du projet GuyaSim et en précisant le programme et les attentes pour ce comité. Avant de passer la parole aux intervenants, il a présenté un bilan général qualitatif et quantitatif du projet. Le compte rendu est en annexe et est accessible à l'adresse : <http://www.ecofog.gf/spip.php?article429>

Comité scientifique

- Le premier comité scientifique s'est tenu à la Cité Administrative Régionale le 20 septembre 2011 de 14h à 17h.

Personnes présentes : C. Baraloto (Inra-Ecofog), L. Blanc (Cirad-Ecofog), V. Blanfort (Cirad-Selmet), O. Brunaux (ONF R&D), C. Charron (IRD), G. Cornu (Cirad-B&SEF), P. Courtiade (ADEME), A.-M. Domenach (Solicaz), S. Guitet (ONF R&D), B. Hérault (UAG-Ecofog), Q. Molto (UAG-Cirad), A. Moore (Cirad-Ecofog), J.-C. Roggy (Inra-Ecofog), V. Rossi (Cirad-Ecofog), H. Schimann (Inra-Ecofog) et G. Verger (ONF SIG).

Déroulement de la réunion : Les quatre activités ont été discutées les unes après les autres. La stratégie de mise en œuvre, les tâches à réaliser ainsi que les difficultés potentielles ont été abordées. Le compte rendu est en annexe et est accessible à l'adresse : <http://www.ecofog.gf/spip.php?article429>

- Le deuxième comité scientifique s'est tenu sur le Campus Agronomique de Kourou le 19 septembre 2012 de 9h à 13h.

Personnes présentes : C. Baraloto (Inra-Ecofog), V. Blanfort (Cirad-Selmet), G. Cornu (Cirad-B&SEF), L. Descroix (ONF R&D), T. Dolley (Cirad-Ecofog), A.-M. Domenach (Solicaz), B. Hérault (UAG-Ecofog), B. Leudet (CNRS-Ecofog), A. Moore (CNRS-Ecofog), P. Petronelli (Cirad-Ecofog), J.-C. Roggy (Inra-Ecofog), V. Rossi (Cirad-Ecofog), J.-M. Salles (CNRS-Lameta), M. Sanlaville (Cirad-Ecofog), H. Schimann (Inra-Ecofog) et C. Stahl (Cirad-Selmet).

Déroulement de la réunion : Vivien Rossi a ouvert la réunion en précisant le programme et les attentes pour ce comité. Ensuite les quatre activités ont été discutées les unes après les autres. L'état d'avancement, les tâches restant à réaliser ainsi que les difficultés potentielles ont été abordées. Le compte rendu est en annexe et est accessible à l'adresse :

<http://www.ecofog.gf/spip.php?article429>

- Le troisième comité scientifique s'est tenu sur le Campus Agronomique de Kourou le 12 septembre 2014 de 14h30 à 17h.

Personnes présentes : O. Brunaux (ONF), C. Baraloto (Inra-Ecofog), C. Charon (IRD), G. Cornu (Cirad-Bsef), T. Dolley (Cirad-DSI), C. Dezechache (Univ. Guyane-Ecofog), A. Dourdain (Cirad-Ecofog), B. Hérault (Cirad-Ecofog), J.-C. Roggy (Inra-Ecofog), V. Rossi (Cirad-Bsef), H. Schimann (Inra-Ecofog).

Déroulement de la réunion : Vivien Rossi a ouvert la réunion en précisant le programme et les attentes pour ce comité. Les résultats de chaque activité ont ensuite été présentés par leurs responsables. La formulation des résultats pour le prochain CoPil a été discutée ainsi que les perspectives pour l'après GuyaSim. Les chiffres présentés dans le bilan général ont été vérifiés à la fin de la réunion. Le compte rendu est en annexe et est accessible à l'adresse : <http://www.ecofog.gf/spip.php?article429>

3. Bilan par activité

Activité 1 : Spatialisation des services éco-systémiques à l'échelle de la forêt guyanaise

1.1 Recherche des indicateurs de services éco-systémiques adaptés à la forêt guyanaise

Objectifs : déterminer les indicateurs pour chacun des services éco-systémiques relatifs à la biodiversité, au carbone et à la qualité des sols.

Carbone

L'incertitude des estimations de la biomasse aérienne sur des parcelles inventoriées a été modélisée par un modèle bayésien hiérarchique. Ce modèle a également permis de déterminer et classer par ordre d'importance les sources de cette incertitude. En particulier, il est ressorti que le niveau de connaissance sur la densité du bois des espèces n'avait pas beaucoup d'influence. Ce résultat est important pour la spatialisation des estimations de biomasse car il aurait été difficile d'obtenir cette

information pour toutes les espèces. Pratiquement, utiliser une densité de bois moyenne pour toutes les espèces n'affecte pas beaucoup les estimations de biomasse. Cependant, il est important que la valeur utilisée comme densité de bois moyenne soit cohérente avec la composition spécifique. Ce travail a été réalisé dans le cadre de la thèse de Quentin Molto. Il est présenté dans sa thèse et dans les articles (Molto & al. 2014), (Molto & al. 2013)

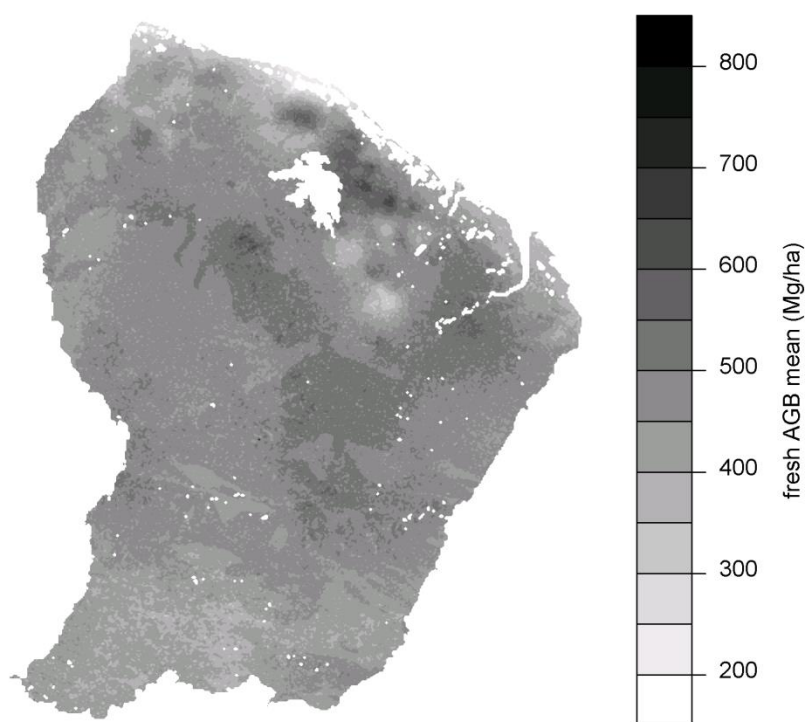


Figure 1 : Carte des estimations de la biomasse fraîche

La spatialisation des estimations, par extrapolation en s'appuyant sur des variables environnementales et climatiques à permis d'obtenir une première carte de la biomasse aérienne de la Guyane (cf Figure 1). Cette carte ne présente pas de biais d'estimation, contrairement aux cartes produites jusqu'à présent à partir de données satellitaires qui sous estiment les valeurs de biomasses supérieures à 400 tonnes à l'hectare. Par ailleurs, comme nous avons développé une méthodologie permettant la propagation des incertitudes, lors du changement d'échelle, dans les estimations de biomasse, nous avons également une carte des écart-types associés (cf. Figure 2)

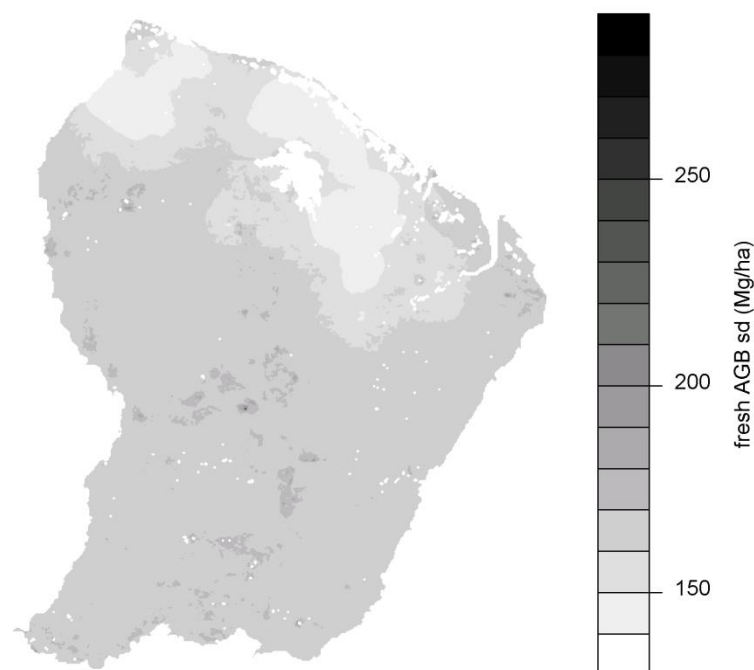


Figure 2 : Carte des écart-types des estimations de biomasse

Les méthodes ayant permis de construire ces cartes feront l'objet d'un article dans une revue scientifique à facteur d'impact. La forte originalité de ce travail réside dans le croisement de données de terrain et de données satellites pour calculer les cartes. Il est peu vraisemblable qu'un tel travail soit réalisable ailleurs qu'en Guyane par manque de données.

Personnes impliquées : Lilian Blanc, Gustave Coste, Bruno Hérault, Quentin Molto et Vivien Rossi

Biodiversité

Pour mieux évaluer la biodiversité des arbres, nous avons analysé des relations entre noms vernaculaires et noms scientifiques des arbres guyanais lors des inventaires forestiers. En effet, dans de nombreux inventaires les arbres sont renseignés par leur nom local (nom vernaculaire) qui peut désigner une ou plusieurs espèces. Un travail de formalisation des connaissances des prospecteurs forestiers du Cirad et de l'ONF a été réalisé. Ce travail a été couplé à une analyse statistique des données d'inventaires (stages J.M. Madkau et C. Ayotte-Trepanier). Nous avons ainsi développé un outil pour estimer l'incertitude taxonomique des noms vernaculaires pour différents sites d'études. Cet outil a permis de développer un modèle de mortalité pour les arbres adapté aux données à disposition dans le réseau Guyafor. Ce modèle de mortalité intégrant l'incertitude de détermination des espèces a été publié dans la revue PlosOne (Aubry-Kientz & al. 2013).

La forme de l'information sur la biodiversité à intégrer dans le logiciel GuyaSim a été décidée lors du dernier conseil scientifique. Nous avons intégré les informations concernant les aires protégées officielles telles que les Znieff et parcs naturels.

Les difficultés d'accès aux données de répartitions d'espèces en possession des différents acteurs (associations, bureaux d'étude, institut de recherche, ONG...) impliqués sur les questions de biodiversité n'ont pu être contournées sur la durée du projet. Il n'a donc pas été possible de produire des cartes des « hot spots » de biodiversité en Guyane. La situation pourrait évoluer dans un avenir proche car la région et la DEAL veulent constituer une grande base de données de la biodiversité guyanaise. Ces initiatives de fédération de données pourraient nous être utiles si une standardisation des données est réalisée. Cependant, il risque d'y avoir un décalage entre les connaissances sur la biodiversité et les intérêts de Guyasim. Souvent les zones inventoriées où l'on a une connaissance précise sont très éloignées des zones concernées par l'aménagement du territoire.

Personnes impliquées : Elodie Allié, Christopher Baraloto, Olivier Brunaux, Bruno Hérault, Jules-Maurice Madkau, Pascal Petronelli.

Sol

Selon le rapport du *Millenium Ecosystems Assessment*, la quasi-totalité des services rendus par les écosystèmes seraient garantis entre autre par un maintien des cycles biogéochimiques à l'équilibre et en particulier ceux du carbone et de l'azote. En effet, les modifications de ces cycles sont celles qui entraînent potentiellement les conséquences les plus importantes en termes d'altération de services (émissions de gaz à effet de serre, baisse de productivité primaire...). Ces cycles sont assurés par des fonctions biologiques appelées fonctions écosystémiques de soutien. Il semble aujourd'hui pertinent d'évaluer les fonctions de soutien clefs, en plus ou à la place, des services écosystémiques. En effet, elles sont plus intégratives et un nombre limité de fonctions peut traduire l'extrême complexité des processus et structures des systèmes.

Parmi ces fonctions de soutien, celles liées aux cycles biogéochimiques du C et du N dans les sols (respiration, dénitrification et nitrifications aérobie et anaérobie) peuvent être considérées comme des fonctions clefs. La mesure de ces fonctions clefs utilisées comme bio indicateurs dans les systèmes de référence donne une image de leur « potentiel écologique » dont la variation peut être alors évaluée dans des systèmes modifiés.

L'objectif de ce volet du projet est donc d'avancer sur l'évaluation du « potentiel écologique » de différents écosystèmes forestiers tropicaux naturels de Guyane estimé à partir de l'analyse des fonctions de support, en particulier celles ayant trait au fonctionnement biologique des sols (qualité des sols dans son fonctionnement microbien). Cette étude a permis de débiter la mise en place d'un réseau de zones de références auxquelles il sera possible de se référer pour évaluer:

- la modification des services de situations perturbées (forêts exploitées à différents niveaux d'intensité);
- la modification des services lors d'un changement d'usage de terres à vocation agricole ;
- le type de pratique agricole minimisant l'altération des services.

Les analyses réalisées et les sites où les prélèvements ont été réalisés sont présentés ci-dessous.

Types d'analyses fournies

Le choix s'est porté sur des activités potentielles qui sont moins fluctuantes que les activités réelles parce que peu sensibles à des facteurs à variations spatio-temporelles courtes ce qui permet donc des comparaisons inter sites.

La respiration :

Mesurée dans les sols sur des incubations de très courtes durées et après apport d'une quantité non limitante de carbone sous forme glucose. Les mesures de respiration potentielle sont prises comme un proxy de la capacité biotique du sol (biomasse microbienne active que peut contenir un sol, caractéristique de ce sol).

La dénitrification :

Mesurée dans les sols sur des incubations de très courtes durées en présence d'acétylène permettant de bloquer l'activité N₂O-réductase. Elle est mesurée en condition potentielle vis-à-vis de l'accepteur d'électrons (nitrate) et du donneur d'électrons (carbone organique) par chromatographie en phase gazeuse (microcatharomètre Varian CP-4900). Les mesures de dénitrification potentielle rendent compte de la capacité à perdre de l'azote du sol. De plus, cette fonction peut être considérée comme indicateur (i) du niveau de diversification de la communauté microbienne du sol et (ii) du fonctionnement de tous les microorganismes impliqués dans le cycle du N. Enfin cette fonction intègre un grand nombre de paramètres environnementaux clefs justifiant ainsi son choix de fonction bio-indicatrice.

La nitrification aérobie :

Mesurée dans les sols sur des incubations de très courtes durées avec révélation du nitrate produit par dénitrification en condition potentielle (source d'ammonium non limitante et en présence d'oxygène) par chromatographie en phase gazeuse (microcatharomètre Varian CP-4900).

La nitrification anaérobie :

Plus complexe à mesurer car la nitrification anaérobie et la dénitrification sont deux activités microbiennes se réalisant dans les mêmes conditions d'anaérobiose. Il était donc nécessaire de bloquer l'une ou l'autre de ces activités par des inhibiteurs chimiques spécifiques pour déterminer l'action de chaque activité.

Les mesures de nitrification potentielle rendent compte de la capacité à fournir du nitrate, (élément nutritif pour les plantes) soit en milieu aéré (nitrification aérobie), soit en milieu saturé en eau (nitrification anaérobie).

Sites d'étude

Le dispositif étudié consiste en 25 parcelles : 11 parcelles de forêts naturelles témoin situées sur un gradient de texture de sols, 4 parcelles de forêts exploitées, 9 parcelles déforestées pour activités agricoles, 2 parcelles de savane.

Sols sableux :

- WAYABO zone B (5°.01'N-52°37'O) : une zone de forêt naturelle témoin, une zone de savane adjacente. Pas de pâturage.
- PREFONTAINE (4°.58'N- 52°.29'O) : une zone de forêt naturelle témoin, une zone de savane adjacente cultivée pendant 15 ans avec de l'ananas.

Sols sablo-argileux :

- WAYABO zone G (4°59' N- 52°37'O) : une zone de forêt naturelle témoin, une forêt convertie par déforestation à la pelle mécanique et brûlis (1 an). Pas de culture.
- ORGANABO – GUYAFOR : une forêt naturelle témoin (P6) et une forêt exploitée (P6T).
- LA CESAREE : (commune de Macouria, 5° 00'. 13''N – 52° 31'O) : une forêt naturelle témoin, une forêt convertie en prairie après brûlis (10 ans), pâturée.
- POINTE COMBI : une forêt naturelle témoin, une forêt convertie en prairie de Bracharia (P), une forêt convertie en parcelle agricole en rotation Maïs-soja en semis conventionnel (SC) et semis direct (SD). Toutes les parcelles ont subi des amendements NPK et chaulage. Parcelles âgées de 3 ans.

Sols argilo-sableux :

- PARACOU – GUYAFOR : une forêt naturelle témoin (P6) et une forêt exploitée (P4).
- SAINT ELIE : une forêt naturelle témoin, une forêt exploitée en coupe rase (GUYAFOR-ARBOCEL) et une forêt convertie en prairie pâturée avec pratique agricole BIO sans engrais (dispositif CARPAG, 20 ans environ).
- MACOURIA : une forêt naturelle témoin et une forêt convertie en prairie pâturée avec ajout d'engrais (dispositif CARPAG, 6 ans environ).

Sols argileux :

- SAUT LAVIETTE – GUYAFOR : une forêt naturelle témoin et une forêt exploitée (MANARE I).
- RISQUETOUT (4°.51'N- 52°.38'O) : une zone de forêt naturelle témoin, une forêt convertie par déforestation à la pelle mécanique et brûlis (1 an). Pas de culture.

Résultats

Concernant les forêts naturelles, pour la mise en évidence des différentes stratégies de maintien des cycles biogéochimiques à l'équilibre dans les sols, notre choix a été de mettre en relation la capacité biotique des sols (estimée à partir des mesures de respiration) avec (i) le niveau de diversification de la communauté microbienne des sols et, (ii) la stratégie à pouvoir former du nitrate. L'hypothèse de départ étant qu'un sol avec une « bonne » capacité biotique doit présenter des niveaux élevés de diversification de sa communauté microbienne.

Concernant les systèmes perturbés (forêts exploitées ou changement d'usage des terres), nous avons optés pour une présentation en taux de variation des différents bio indicateurs (exprimés en % de variation par rapport à leur témoin respectif).

Les méthodes développées par Solicaz et leurs résultats en vue de construire un bio-indicateur de la qualité du sol sont détaillés leur rapport est en annexe et est accessible à l'adresse :

<http://www.ecofog.gf/spip.php?article429>

Personnes impliquées : Anne-Marie Domenach, Jean-Christophe Roggy.

1.2 Vers une meilleure caractérisation des habitats forestiers guyanais

Nous avons complété les inventaires floristiques sur quatre sites (Nouragues, Laussat, Kaw, Savane Roche Virginie) pour comparer les résultats des méthodes de layons du projet Habitat, des parcelles

de 1-ha et des parcelles Gentry. En 2011, nous avons participé à l'encadrement de deux étudiants de master de l'Université Utrecht pour mettre en place un réseau de parcelles Gentry sur le site de Kaw, en collaboration avec la Réserve Naturelle Trésor. Avec la Réserve, l'ONF et l'UMR AMAP, nous y avons installés trois parcelles d'1ha en 2012.

Nous avons compilé les données des parcelles existantes pour identifier les lacunes en distribution géographique. Cette tâche a été traitée lors d'un stage de M2 en 2011 (V. Guerrère, encadré par L. Blanc et S. Traissac) sur les inventaires papetiers et les inventaires de Counami. Des missions de terrain ont été réalisées en 2013 pour compléter les lacunes.

Nous avons complété également la base de données sur les traits fonctionnels des arbres qui permettra de calculer les indices de diversité fonctionnelle sur les sites étudiés. En particulier, nous avons poursuivi des mesures de traits du bois, dans le cadre d'un stage de M2 (A. Leclerc, encadré par C. Fortunel).

Personnes impliquées : Elodie Allié, Michel Baisie, Christopher Baraloto, Olivier Brunaux, Bruno Hérault, Martinus Koesse, Fritz Kwasié, Onoe Ngwete, Pascal Petronelli, Richard Santé.

Activité 2 - Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales :

Objectifs : Caractériser les questions relatives aux aspects socio-économiques du développement guyanais.

Résultats attendus : rapport de synthèse décrivant les différents scénarios et les cartes des types d'occupation selon les différents scénarios envisagés aux différents pas de temps étudiés.

2.1 : Caractérisation des modes d'occupation de l'espace

Avec la plus faible densité démographique de tous les départements français (2,5 hab/km²), la Guyane connaît également une répartition très inégale de la population sur son territoire, avec une très forte concentration de celle-ci sur les communes littorales, la forêt occupant le reste du département (cf. Figure 3).

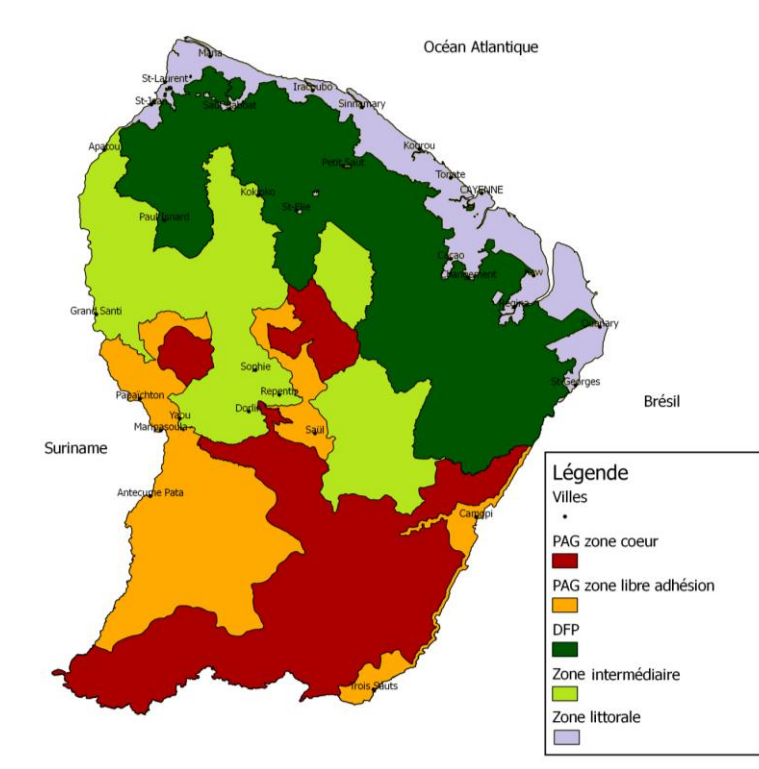


Figure 3 : Forêts de Guyane (ONF), Zone littorale : zone de développement urbain, agricole..., DFP : Domaine Forestier Permanent, à vocation forestière stricte

⇒ La déforestation concerne donc en priorité la zone littorale, où se font aujourd'hui les principaux aménagements urbains et agricoles.

Afin d'évaluer les dynamiques territoriales de la Guyane, nous devons tout d'abord obtenir une vision de l'occupation des sols actuelle sur le territoire. Pour cela, nous nous basons sur les cartes réalisées par l'ONF concernant la frange littorale de la Guyane pour les années 2001, 2005 et 2008 (cf. Figure 4 pour 2008).

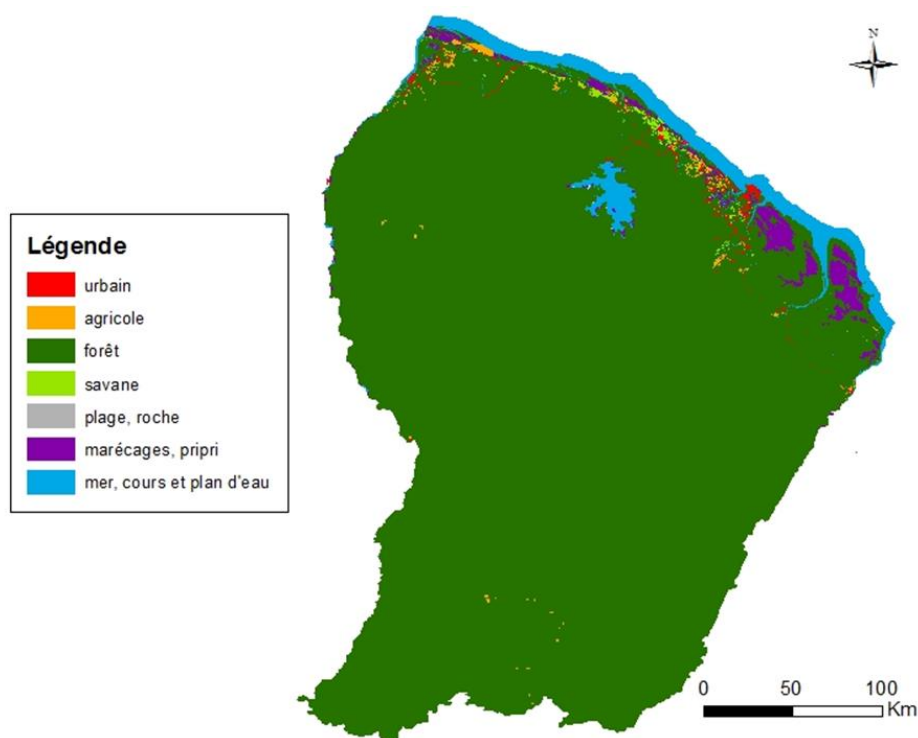


Figure 4 : Carte de référence du GuyaSim pour l'occupation des sols en 2008

2.2 : Identification, validation et caractérisation des scénarios

Pour identifier et caractériser les différents projets d'aménagement du territoire nous avons rencontré la plupart des acteurs impliqués dans l'aménagement de la Guyane : ADEME, AUDeG, BRGM, CACL (ex CCCL), DAAF, DEAL, Département Guyane – Conseil Général, EPAG, IRD, ONF, Région Guyane – Conseil Régional, CCOG, Parc Amazonien, Maire de Kourou, Mairie de Remire et Mairie de Saint Laurent du Maroni.

Ces entretiens avaient deux objectifs principaux : localiser les zones concernées par les futurs aménagements et identifier l'échelle de travail de chacun des partenaires.

Parmi les documents d'urbanisme recensés lors des entretiens, les SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale) sont particulièrement intéressants pour le projet. Il s'agit de documents de programmation des aménagements à l'échelle des communautés d'agglomérations. Cependant en Guyane, seule la CACL a un SCOT, il a été validé en 2011 et a pour échéance officielle l'année 2025.

2.3 : Cartographie prospective des modes d'occupation de l'espace

Les scénarios prospectifs d'occupation de l'espace ont été construits à partir des tendances observées pour l'accroissement démographique des communes (cf. Figure 5).

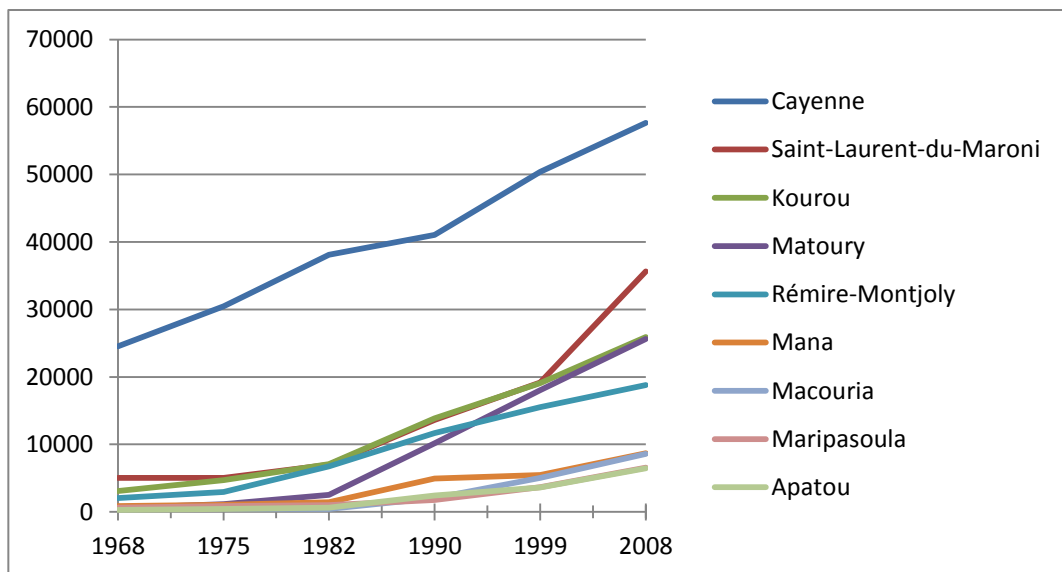


Figure 5 : Evolution de la population des 9 principales communes de Guyane (1968-2008, INSEE)

Le principal objectif du SCOT est de faire face à la croissance démographique sur le territoire de la CACL (2,8%), qui devrait entraîner un doublement de la population dans les 20 prochaines années. Il faut donc prévoir une extension considérable du parc de logement pour faire face à la pression démographique croissante (cf. Figure 6)

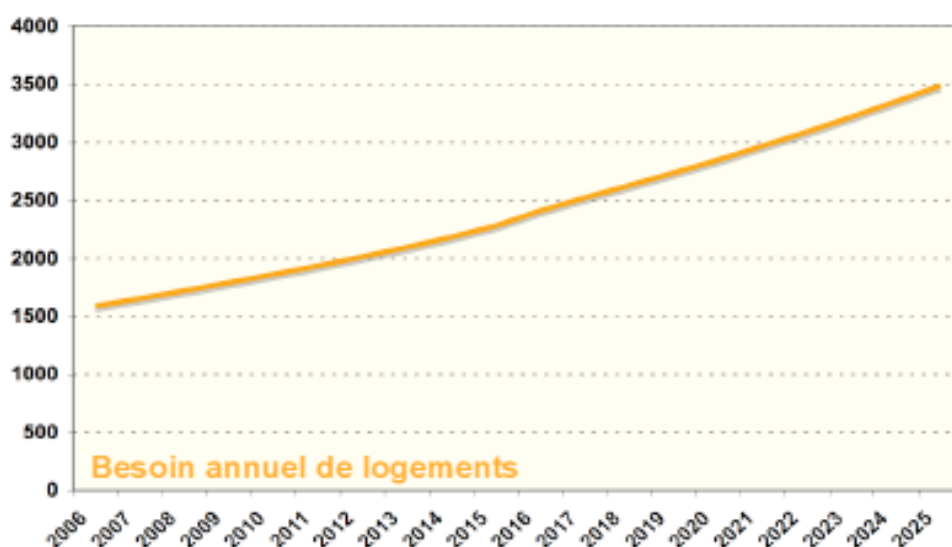


Figure 6 : Préviction de l'évolution du besoin annuel en logements sur les communes de la CACL (SCOT CACL)

La croissance démographique sur le bassin de Saint Laurent avoisine les 8%, la croissance de la courbe de besoin en logement de la CCOG serait supérieure à celle de la Figure 6. Cette forte augmentation de la population génère, surtout dans l'ouest, une dynamique spontanée de mitage des forêts le long des axes routiers (cf. Figure 7). Pour prendre en compte ce phénomène de mitage de façon réaliste dans le logiciel, nous avons relié l'intensité du mitage autour de routes à la croissance de la population dans les agglomérations voisines.

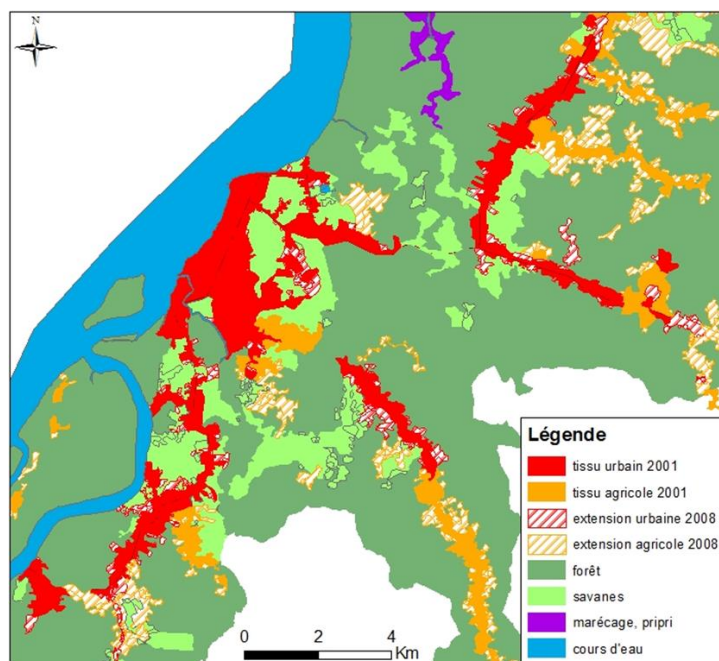


Figure 7 : Extension des aires urbaines et agricoles sur la commune de Saint-Laurent-du-Maroni (2001-2009)

Après avoir localisé les surfaces d'extensions urbaines et agricoles, nous avons obtenu trois cartes, correspondant aux trois hypothèses de développement (haute, moyenne et basse) et représentant l'occupation des sols sur le littoral Guyanais en 2022 e 2032, suivant les trois hypothèses. Ces cartes sont intégrées dans le logiciel. Pour la commune de Saint Laurent du Maroni en 2032 les hypothèses haute, moyenne et basse sont respectivement représentées sur la Figure 8, la Figure 9 et la Figure 10.

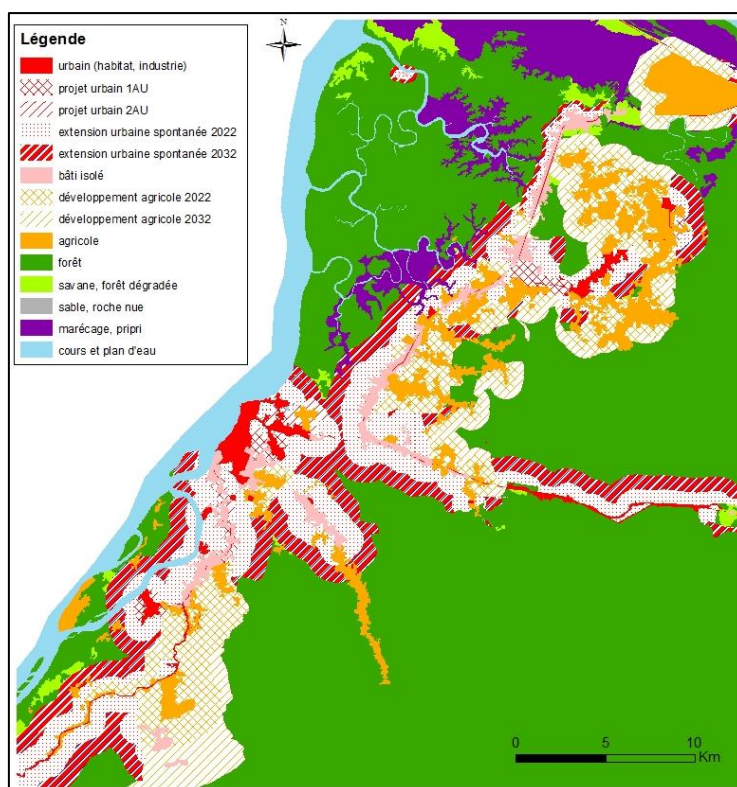


Figure 8 : Occupation des sols 2032 sur la zone de Saint-Laurent-du-Maroni – Hypothèse de croissance haute

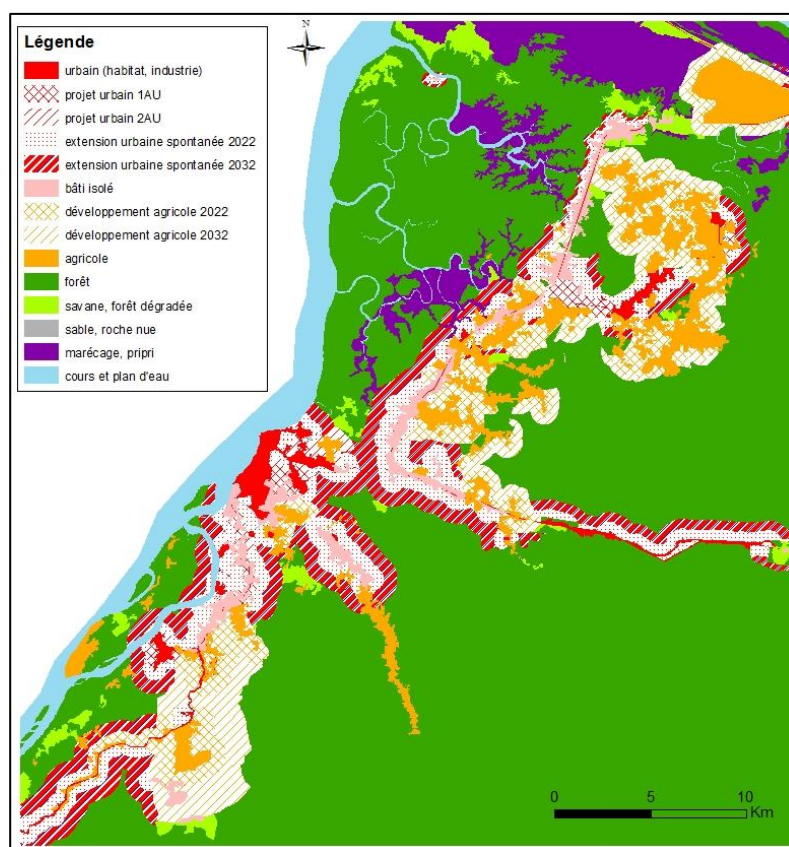


Figure 9: Occupation des sols 2032 sur la zone de Saint-Laurent-du-Maroni – Hypothèse de croissance moyenne

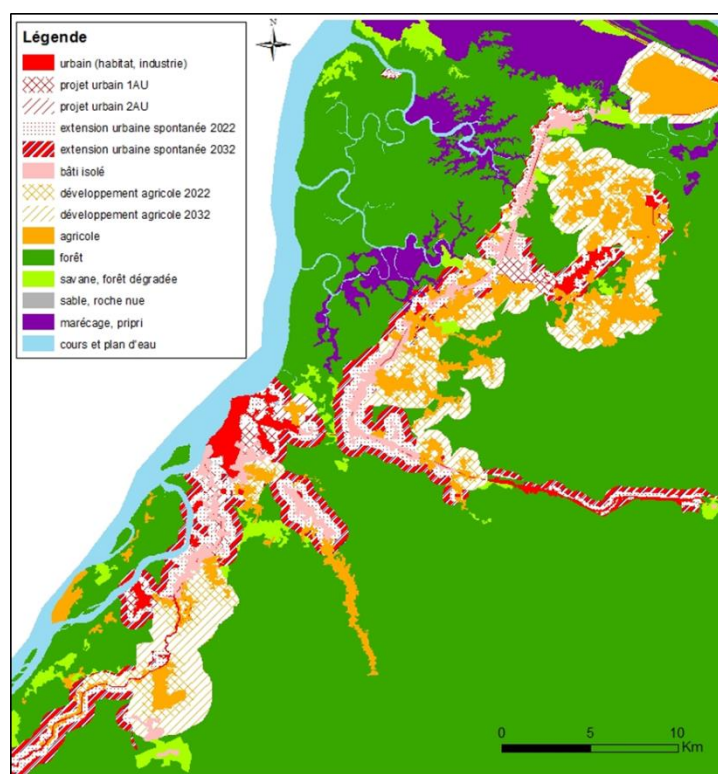


Figure 10 : Occupation des sols 2032 sur la zone de Saint-Laurent-du-Maroni – Hypothèse de croissance basse

Les scénarios de développement socio-économiques et leurs méthodes de construction sont détaillés dans le rapport de synthèse de l'activité 2 en annexe et est disponible à l'adresse :

<http://www.ecofog.gf/spip.php?article429>

Les cartes des scénarios ont été réalisées à partir de la carte d'occupation des sols de Guyane de 2008. L'ONF nous a fourni début 2013, la carte d'occupation des sols de 2011. Les projections des scénarios ont mises à jour à partir de cette carte de 2011 et intégrées dans la version définitive du logiciel.

Personnes impliquées : Aurélie Dourdain, Richard Pasquis, Jean-Michel Salles et Marianne Sanlaville

Activité 3 - Scénarios d'impacts des changements climatiques pour les forêts guyanaise

Objectifs : modélisation de l'impact des scénarios de changements climatiques. Cette phase va nécessiter des développements mathématiques pour intégrer des données climatiques et environnementales dans les modèles de dynamiques forestières.

Principal résultat attendu : par habitat forestier, un modèle réalisant les prédictions des évolutions des indicateurs de service éco-systémiques à partir de données climatiques

3.1 Modélisation de la dynamique forestière des communautés d'espèces basée sur les traits fonctionnels et intégrant les variables climatiques

Modèles de dynamiques forestières à l'échelle de la communauté

Dans la forêt guyanaise, la plupart des espèces ont peu de représentants, même pour de grands dispositifs de suivis, car la diversité d'espèces à l'hectare est grande. Il est ainsi impossible de calibrer les modèles de dynamique par espèce. En conséquence, il est difficile de modéliser la dynamique à l'échelle de la communauté en intégrant la diversité des comportements spécifiques. Pour décomposer cette complexité, nous avons utilisé les traits fonctionnels des espèces. Cela permet de représenter la diversité comme un continuum d'espèces réparties sur plusieurs gradients comportementaux.

Pratiquement, nous avons utilisé le cadre bayésien hiérarchique pour relier les traits fonctionnels aux paramètres des modèles de dynamique forestière. Les dynamiques forestières sont constituées des trois processus : la régénération, la croissance et la mortalité. Ainsi pour chacun de ces processus il nous faut construire un modèle. Pour le processus de croissance, nous avons utilisé un modèle type lognormal :

$$\log(AGR_{is} + 1) = Gmax_s \times \exp\left(-0.5 \times \left(\log\left(\frac{DBH_{is}}{Dopt_s}\right)/K_s\right)^2\right) + \varepsilon_{is}$$

Où AGR_{is} est la croissance annuelle observée pour l'arbre i de l'espèce s , $Gmax_s$ est le taux de croissance maximal des arbres de l'espèce s sur toute leur vie, $Dopt_s$ est le diamètre pour lequel cette croissance maximale se réalise et K_s est le kurtosis du modèle de croissance qui module la courbe de croissance des arbres. Le rôle de chacun des paramètres est illustré dans la Figure 11.

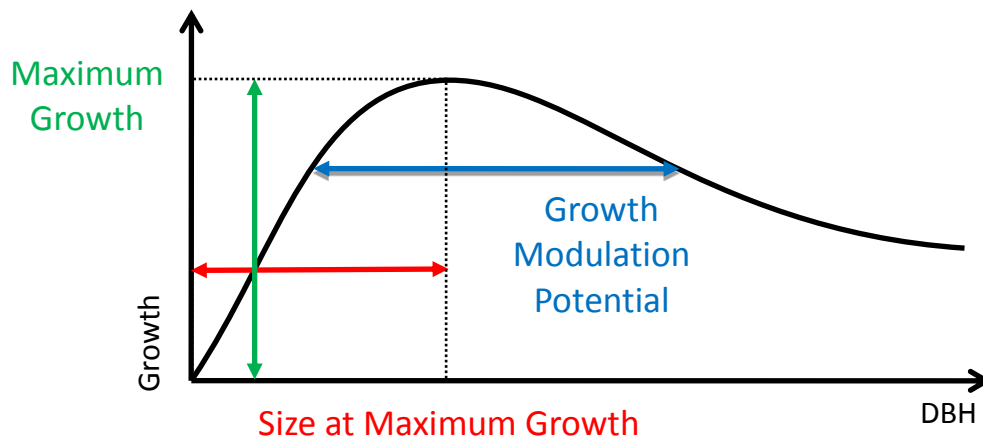


Figure 11 : Forme du modèle de croissance type lognormal

Chacun des paramètres, G_{max} , D_{opt} , et K_s s'exprime ensuite comme une combinaison linéaire des traits fonctionnels (densité du bois, épaisseur des feuilles, hauteur maximale, taille des graines, surface foliaire ...). Nous avons ainsi obtenu une grande variété de courbe de croissance reflétant assez bien la diversité des stratégies spécifiques (cf. Figure 12).

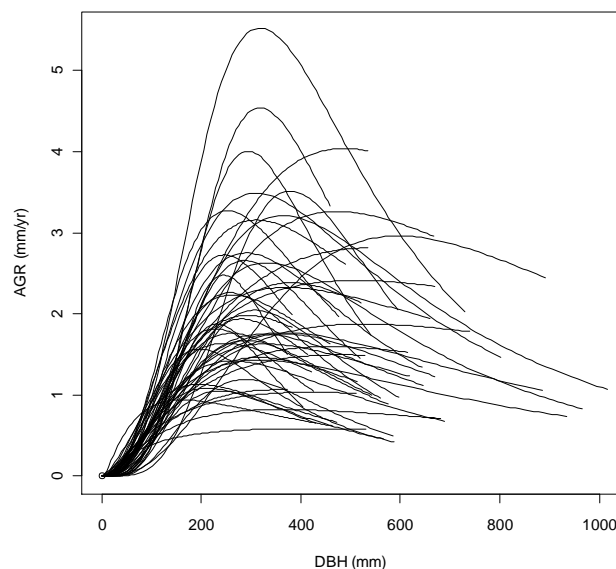


Figure 12 : Courbes de croissance obtenues pour différentes espèces avec le modèle type lognormal

Ainsi, le passage de l'échelle de l'espèce à la communauté est réalisé pour le processus de croissance. Ce travail a donné lieu à une publication (Héroult & al. 2011) dans Journal of Ecology.

Mélaine Aubry-Kientz, dans le cadre de sa thèse a transposé la méthodologie pour construire un modèle de mortalité à l'échelle de la communauté. Nous avons utilisé un modèle logit pour estimer la probabilité de mourir d'un arbre suivant son espèce et son stade ontogénique. Comme pour la mortalité, l'appartenance à une espèce a été exprimée comme une combinaison linéaire de traits fonctionnels. Cependant, nous avons été confrontés à une difficulté : la détermination des espèces des arbres morts il y a plus de dix ans n'est pas toujours précise. Etant donné que le taux de mortalité

est faible, nous ne pouvons pas exclure ces données. Nous avons donc développé une méthode permettant d'intégrer cette incertitude lors de la calibration du modèle. Ce travail est publié dans l'article Aubry & al.(2013).

Nous travaillons à présent sur le couplage dans un seul modèle des processus de croissance et mortalité. Le processus de croissance intervient dans le modèle de mortalité sous la forme d'un indicateur de vitalité de l'arbre.

Intégration du climat dans les modèles de dynamiques forestières

En Guyane, les changements climatiques devraient surtout concerner la pluviométrie. Pour être en mesure d'évaluer le rôle de la disponibilité en eau dans la dynamique forestière, nous avons développé un modèle du cycle de l'eau en forêt tropicale (Wagner & al 2011). C'est un modèle de type bilan hydrique qui, schématiquement, quantifie des échanges d'eau entre des boîtes (cf. Figure 13).

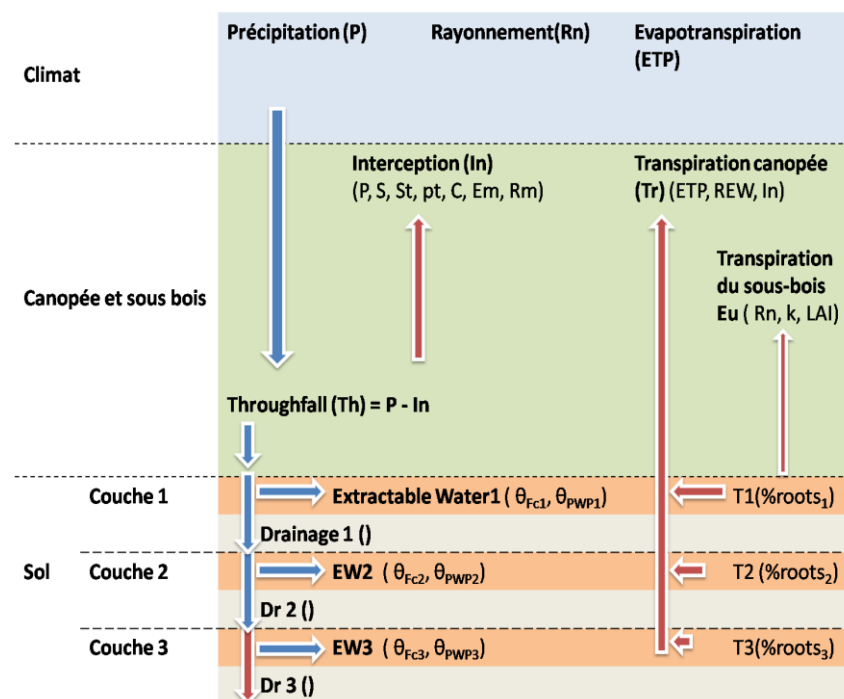


Figure 13 : Schéma du modèle d'eau dans le sol

Comme le montre la Figure 14, ce modèle prédit bien l'eau disponible dans le sol pour les plantes notée REW (Relative Extractable Water).

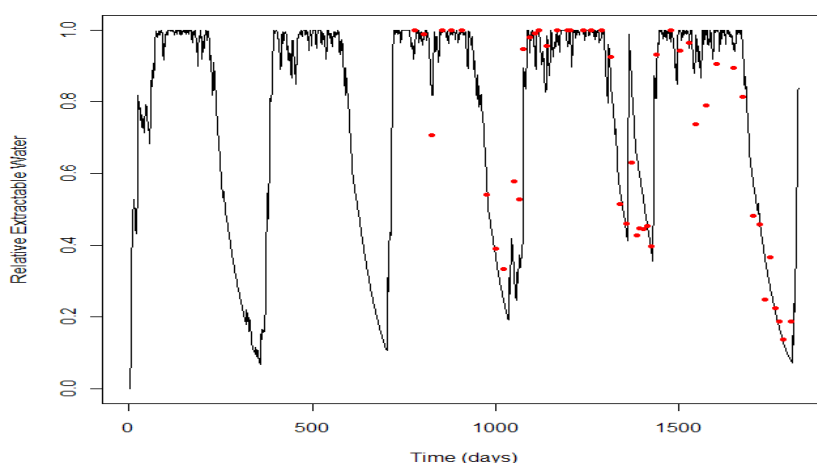


Figure 14 : REW prédits par le modèle (traits noirs), REW mesurés (points rouges)

Les sorties de ce modèle, les REW, ont été utilisées comme une covariable dans un modèle de croissance pour quantifier l'impact des variations pluviométriques inter et intra annuelles sur la dynamique forestière. Il en ressort que la disponibilité en eau est le facteur environnemental le plus influent pour expliquer les variations périodiques de croissance des arbres cf. Figure 15.

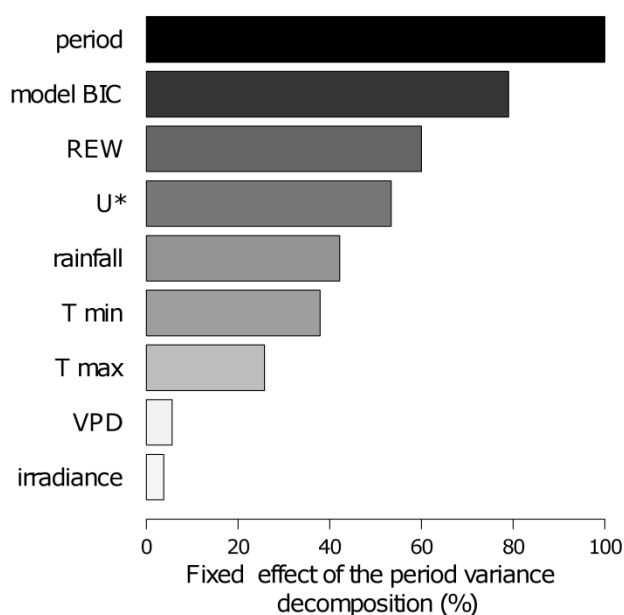


Figure 15 : Niveau des effets des covariables sur les variations de croissance intra-annuelles

Ce travail a donné lieu à une publication (Wagner & al. 2012) dans la revue PlosOne.

Afin de préciser de quelle manière la disponibilité en eau affecte la croissance de l'arbre, nous avons mis en relation ces deux variables avec la phénologie. Il est ressortit que globalement les arbres ont une stratégie d'allocation de ressources fonction de la disponibilité en eau. En résumé, les arbres ont tendance à renouveler leurs feuilles en fin de saison sèche, en puisant dans leurs réserves, pour

avoir un rendement photosynthétique optimal au début de la saison des pluies. Un accroissement diamétrique important (associé à un gonflement de l'écorce) est ainsi observé en début de saison des pluies. Ce travail est en discussion dans la revue Biogeoscience (Wagner & al. In discussion).

Personnes impliquées : Mélaïne Aubry-Kientz, Charles Ayotte-Trépanier, Bruno Hérault, Vivien Rossi, Fabien Wagner et Kejun Zou.

3.2 Prédiction de l'évolution des habitats selon différents scénarios de changements climatiques

Avant de prédire l'évolution des habitats, il est nécessaire de prédire les évolutions climatiques attendues pour la Guyane. Il existe différents scénarios climatiques globaux (cf. Figure 16). Les scénarios RCP remplacent les "SRES scenarios" (Special Report on Emissions Scenarios) établis en 2000. Ces scénarios se basent sur le forçage radiatif. Le forçage radiatif peut être défini comme "l'équilibre entre le rayonnement solaire entrant et les émissions de rayonnements infrarouges sortant de l'atmosphère". Le scénario le plus probable est le RCP 4.5. Dans ce scénario, en 2100, le forçage radiatif atteint 4,5 W/m², ce qui correspond à une concentration équivalente en CO₂ autour de 650 ppm (contre 390 ppm actuellement). La stabilisation se fait après 2100, mais commence vers 2060.

Nous avons collaboré avec les membres du projet CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, <http://wcrp-cordex.ipsl.jussieu.fr>) pour obtenir des descentes d'échelle à la zone de la Guyane du scénario global. Nous avons ainsi pu obtenir des prédictions pour la pluviométrie, la température et l'évaporation. Les cartes des prévisions pour ces trois variables sont présentées et expliquées dans les sections suivantes. Ces trois cartes et leurs explications ont été intégrées dans le logiciel.

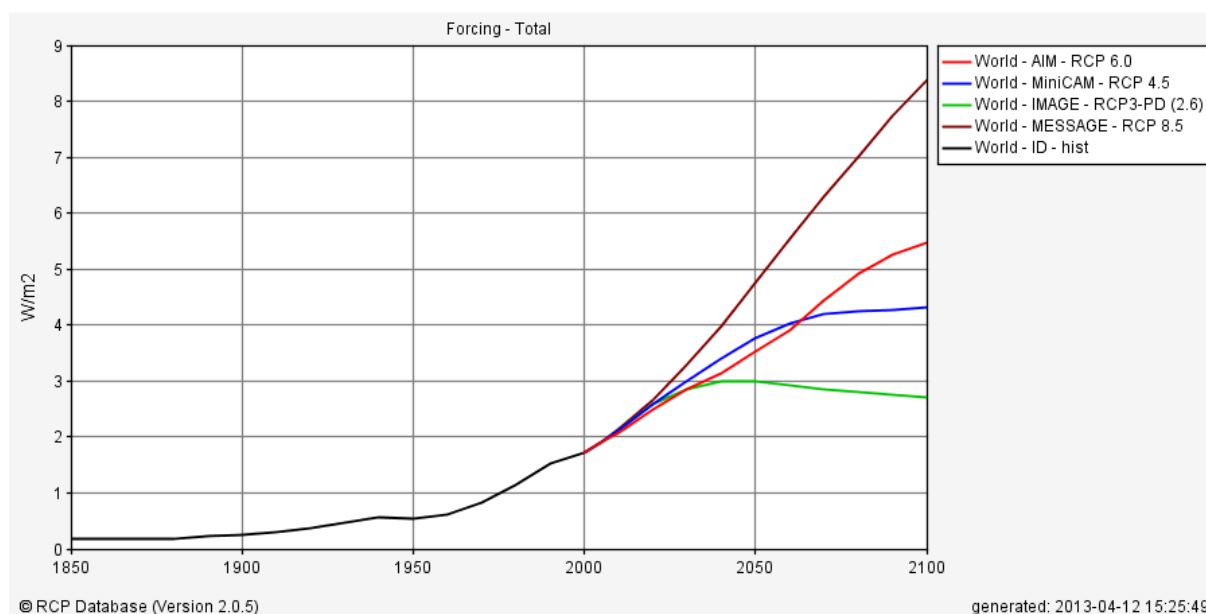


Figure 16 : Scénarios climatiques globaux

Carte d'évolution des précipitations

La carte de la Figure 17 représente la différence entre les périodes Janvier 2020-Novembre 2070 et Janvier 1951-Décembre 2001 des précipitations moyennes annuelles. L'unité est le mm.

Si la valeur est positive cela signifie que la valeur moyenne sur la période 2020-2070 est plus élevée que sur la période 1951-2001.

Si la valeur est négative cela signifie que la valeur moyenne sur la période 2020-2070 est moins élevée que sur la période 1951-2001.

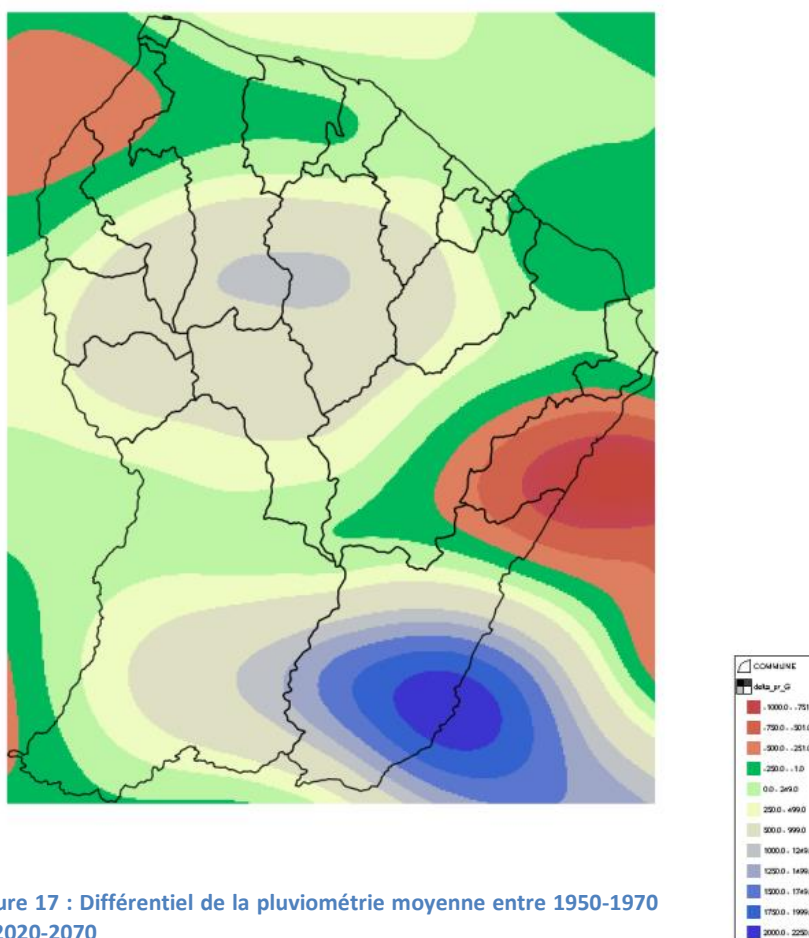


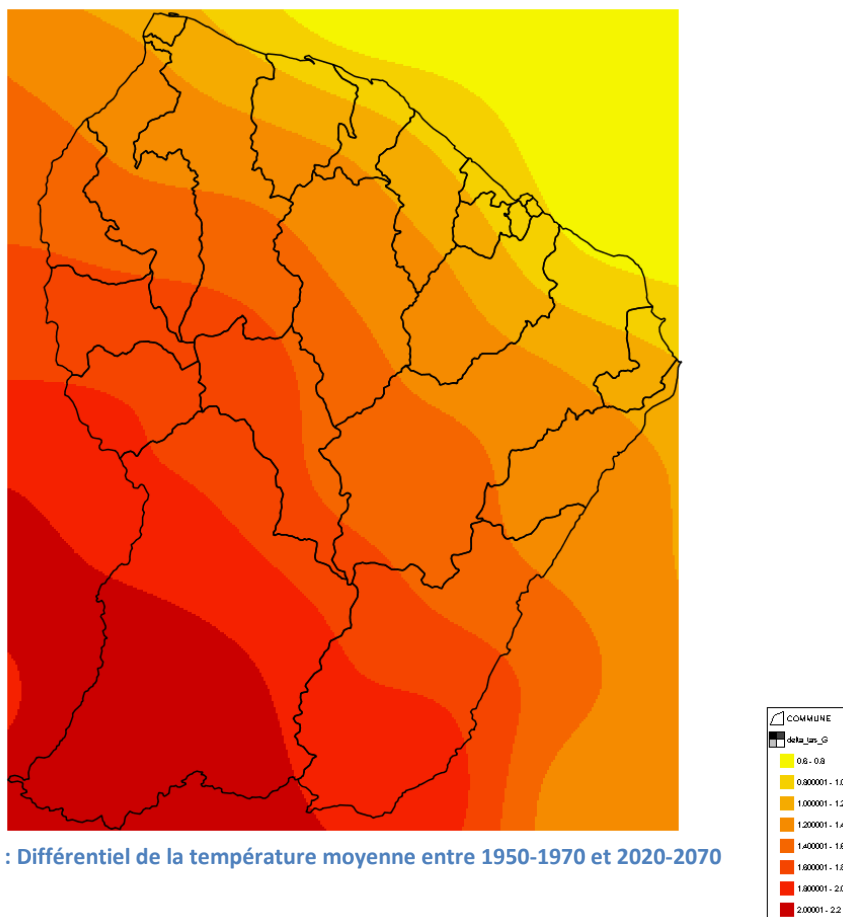
Figure 17 : Différentiel de la pluviométrie moyenne entre 1950-1970 et 2020-2070

Carte d'évolution de la température

La carte de la Figure 18 représente la différence entre les périodes Janvier 2020-Novembre 2070 et Janvier 1951-Décembre 2001 des valeurs moyennes annuelles de température. L'unité est le degré Celcius.

Si la valeur est positive cela signifie que la valeur moyenne sur la période 2020-2070 est plus élevée que sur la période 1951-2001.

Si la valeur est négative cela signifie que la valeur moyenne sur la période 2020-2070 est moins élevée que sur la période 1951-2001.



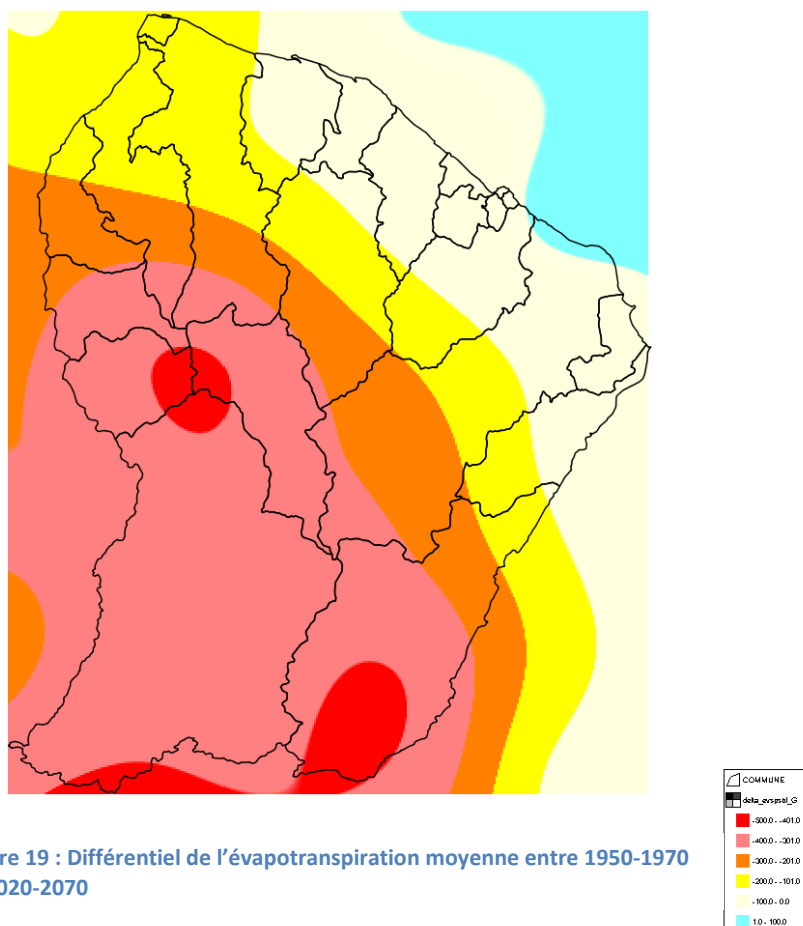
Carte d'évolution de l'évaporation

L'évaporation se définit par les transferts vers l'atmosphère de l'eau du sol, de l'eau interceptée par la canopée et des étendues d'eau.

La carte de la Figure 19 représente la différence entre les périodes Janvier 2020-Novembre 2070 et Janvier 1951-Décembre 2001 des valeurs moyennes annuelles d'évaporation. L'unité est le mm.

Si la valeur est positive cela signifie que la valeur moyenne sur la période 2020-2070 est plus élevée que sur la période 1951-2001.

Si la valeur est négative cela signifie que la valeur moyenne sur la période 2020-2070 est moins élevée que sur la période 1951-2001.



Des travaux visant à introduire ces trois variables climatiques dans des modèles de dynamiques forestières sont en cours, en particulier dans le cadre de la thèse de Méline Aubry-Kientz. Nous pourrions ainsi identifier des espèces potentiellement vulnérables aux évolutions climatiques envisagées. D'autre part, dans le cadre du projet Habitat, l'ONF a établi une description floristique des habitats. Nous serons donc en mesure d'identifier les habitats dont la composition floristique risque d'être affectée par les changements climatiques. Mais dans le temps imparti au projet, nous ne serons pas en mesure de prédire vers quoi ces habitats menacés devraient évoluer.

Activité 4 - Réalisation du logiciel de simulation

Objectifs : développement d'un logiciel, avec une interface graphique pour les utilisateurs, intégrant les résultats et connaissances des trois autres activités.

Principal résultat attendu : un logiciel simple d'utilisation, permettant d'explorer, de façon interactive et graphique, l'évolution des services éco-systémiques forestiers suivant les scénarios de développement socio-économiques choisis et l'impact des changements climatiques.

4.1 Rédaction du cahier des charges

Nous avons rédigé un questionnaire à soumettre aux partenaires susceptibles d'utiliser le logiciel en vue de réaliser le cahier des charges. Une série d'entretiens avec ces partenaires a été organisée en mars 2012 pour remplir les questionnaires. Une réunion d'un comité scientifique restreint a eu lieu le 29 mars 2012 pour analyser les réponses des partenaires et définir les grandes lignes pour la rédaction du cahier des charges.

La première version du cahier des charges a été achevée fin juin 2012 et transmise aux partenaires pour consolidation. La version définitive intégrant les retours des partenaires a été produite le 17 juillet 2012. Elle est en annexe et est disponible sur le site web du projet à l'adresse :

<http://www.ecofog.gf/spip.php?article429>

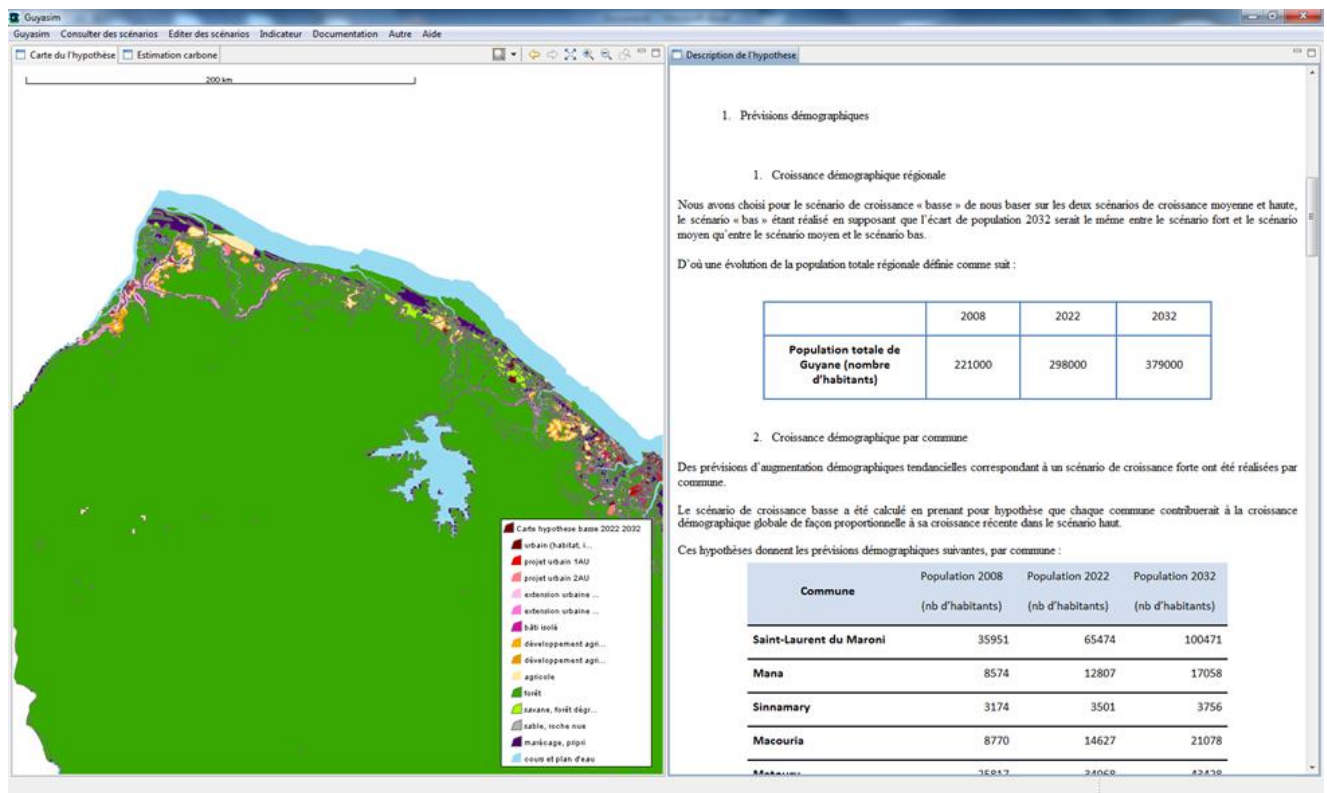
Un travail de recensement et d'analyse des données nécessaires au logiciel a été mené parallèlement à la rédaction du cahier des charges.

Personnes impliquées : Guillaume Cornu, Thomas Dolley et Marianne Sanlaville

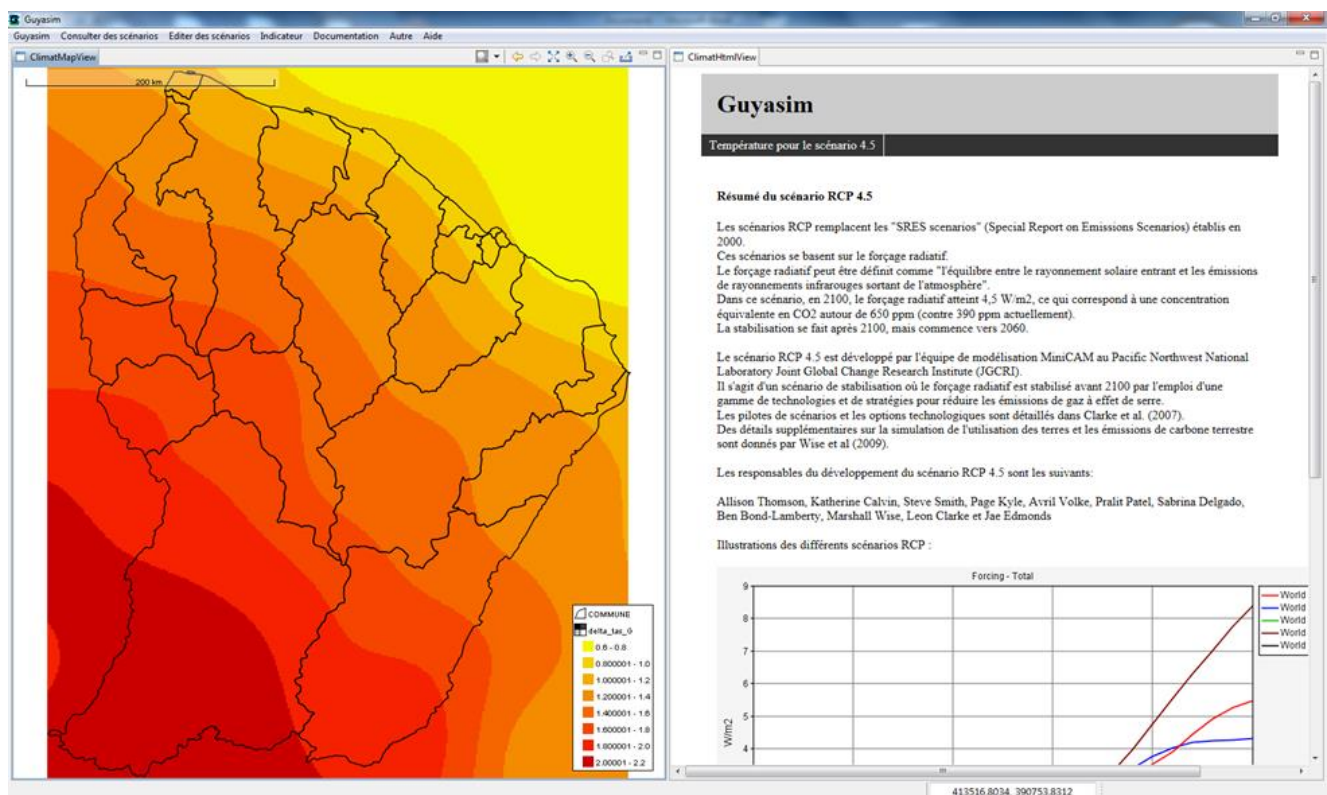
4.2. Développement d'un prototype d'interface

Lors de la réunion du 29 mars, il est ressorti que les futurs utilisateurs du GuyaSim sont essentiellement des aménagistes habitués à travailler avec des logiciels SIG. Pour construire l'interface graphique, nous avons choisi de nous appuyer sur uDig. Cet outil permet de réaliser des interfaces graphiques personnalisées de type SIG. Ainsi les utilisateurs pourront facilement prendre le logiciel en main. Lors du comité de pilotage en septembre 2012, un prototype d'interface graphique était montré aux partenaires pour recueillir leurs impressions. Ainsi l'interface du logiciel a pu être stabilisée. L'interface du logiciel a été finalisée début 2013. Voici quelques exemples de sorties possibles :

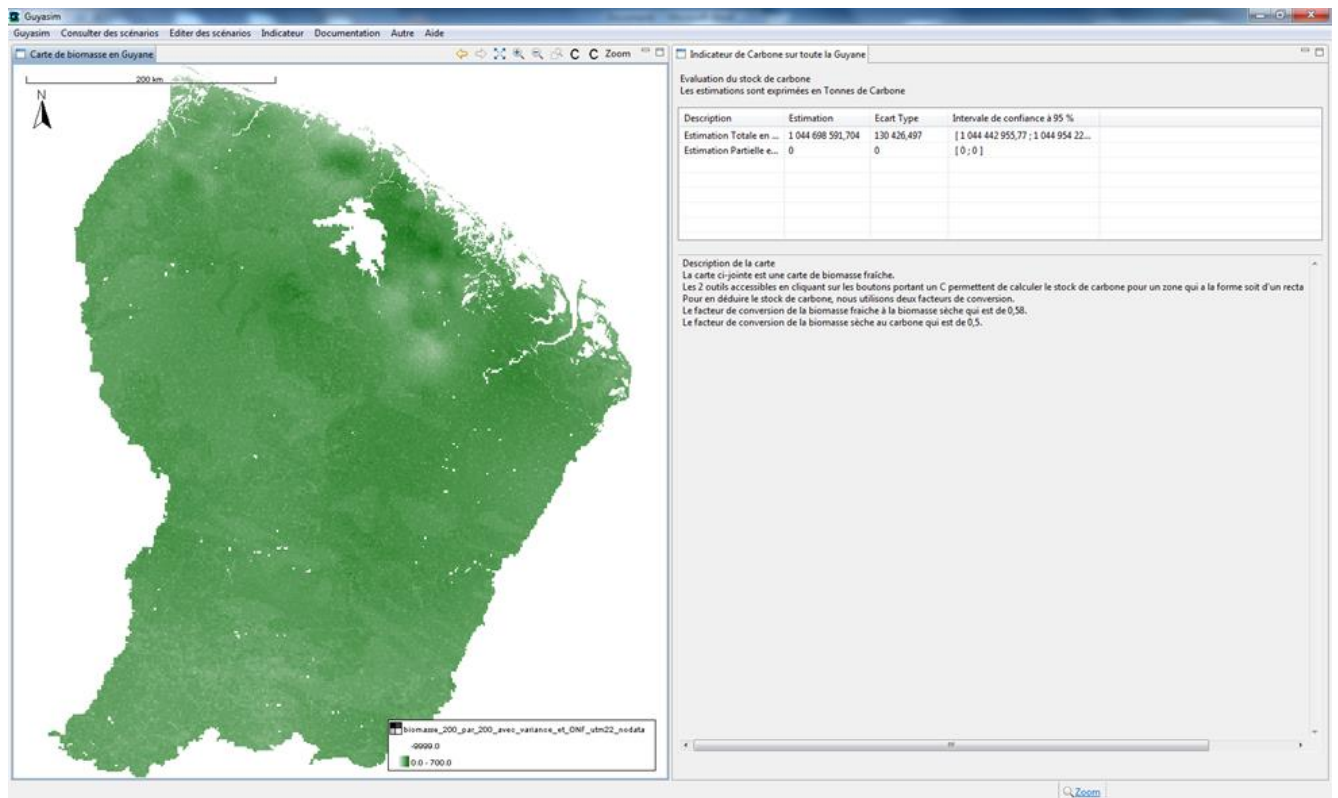
- Visualisation des scénarios développement socio-économiques :



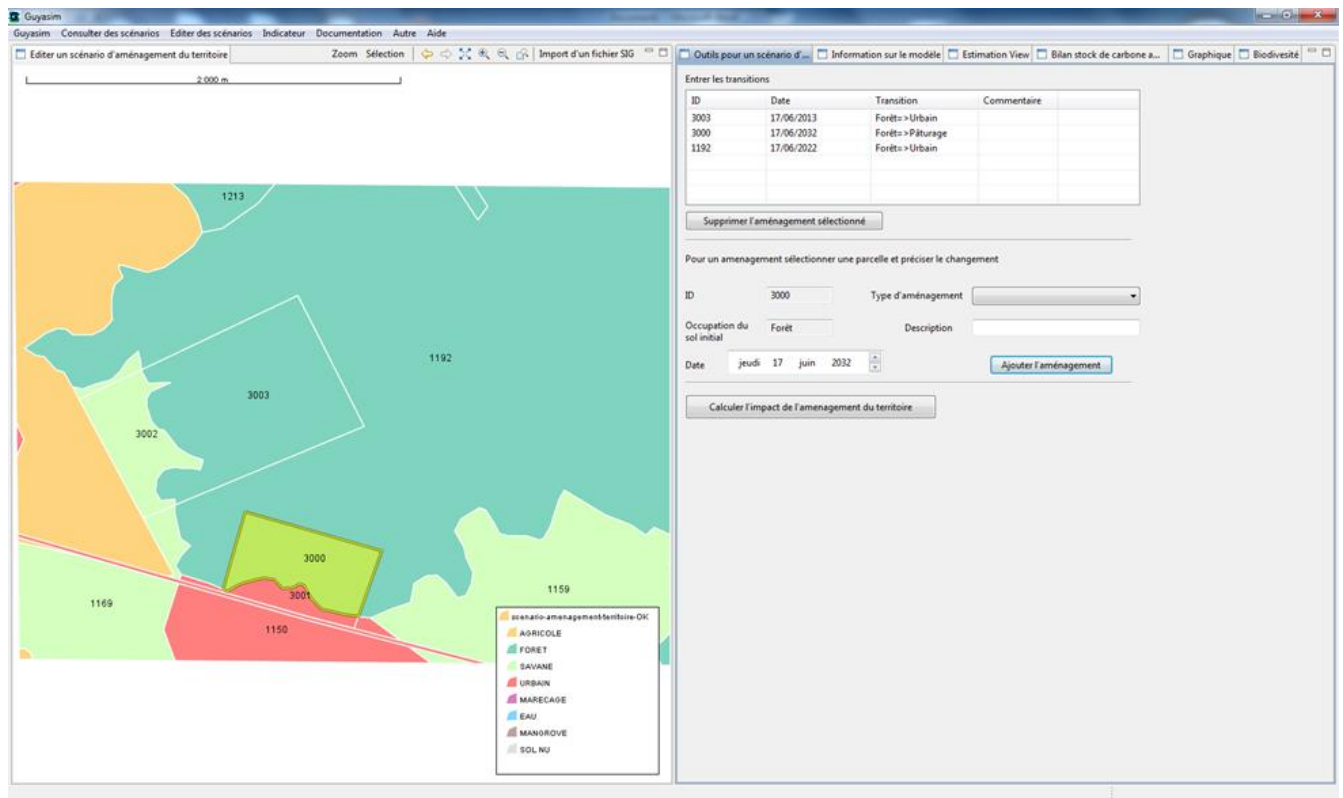
- Visualisation de scénarios climatiques :



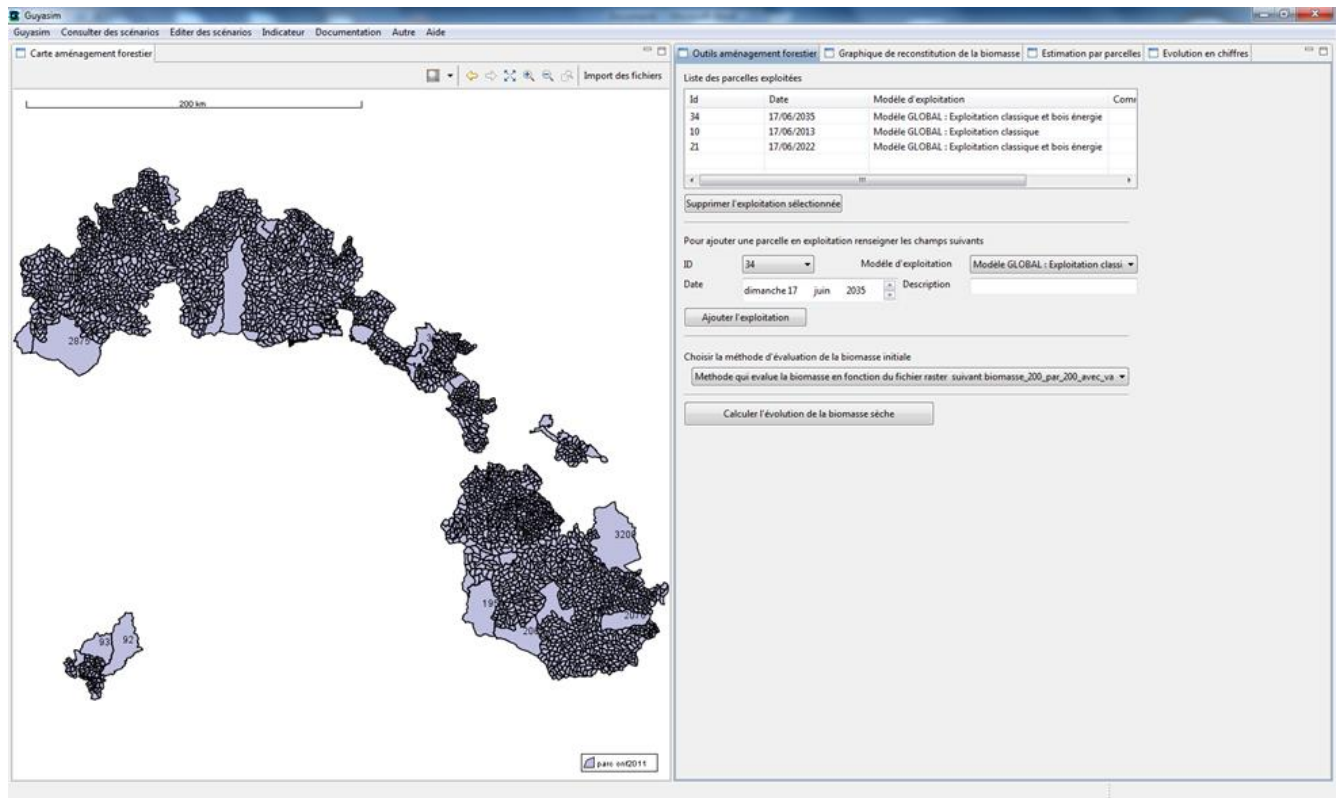
- Visualisation spatiale du stock de carbone :



- Interface de création d'un scénario d'aménagement territoire :



- Interface de création d'un scénario d'aménagement forestier :



Personnes impliquées : Guillaume Cornu et Thomas Dolley

4.3. Développement du moteur de logiciel

La conception du moteur du logiciel a nécessité des développements élaborés pour permettre l'implémentation des scénarios d'aménagement des territoires urbains et les scénarios d'aménagement du domaine forestier. Les principes de mise en œuvre de ces deux types de scénarios sont expliqués ci-dessous.

Scénarios d'aménagement de territoires communaux

L'interface permettant de construire des scénarios d'aménagement des territoires communaux fonctionne à partir du parcellaire. L'utilisateur peut sélectionner des parcelles et définir des séries de changements d'utilisation à leurs dates (cf. Figure 20). Une fois que le scénario est défini, l'utilisateur peut évaluer son impact sur le stock de carbone forestier et avoir des informations relatives à la biodiversité pour la zone concernée. Les calculs réalisés sont affichés sous forme graphique et leurs bilans sous forme de tableau (cf. Figure 21).

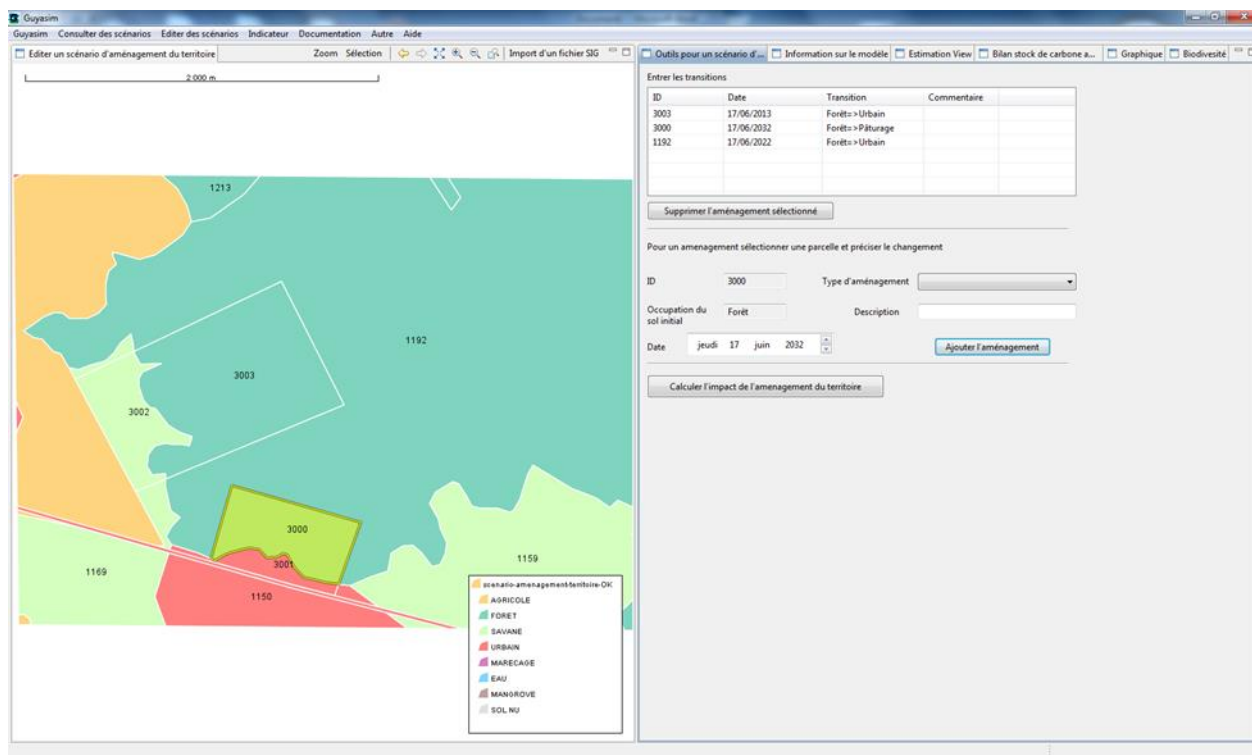


Figure 20 : Interface pour la sélection du parcellaire et des scénarios d'aménagement

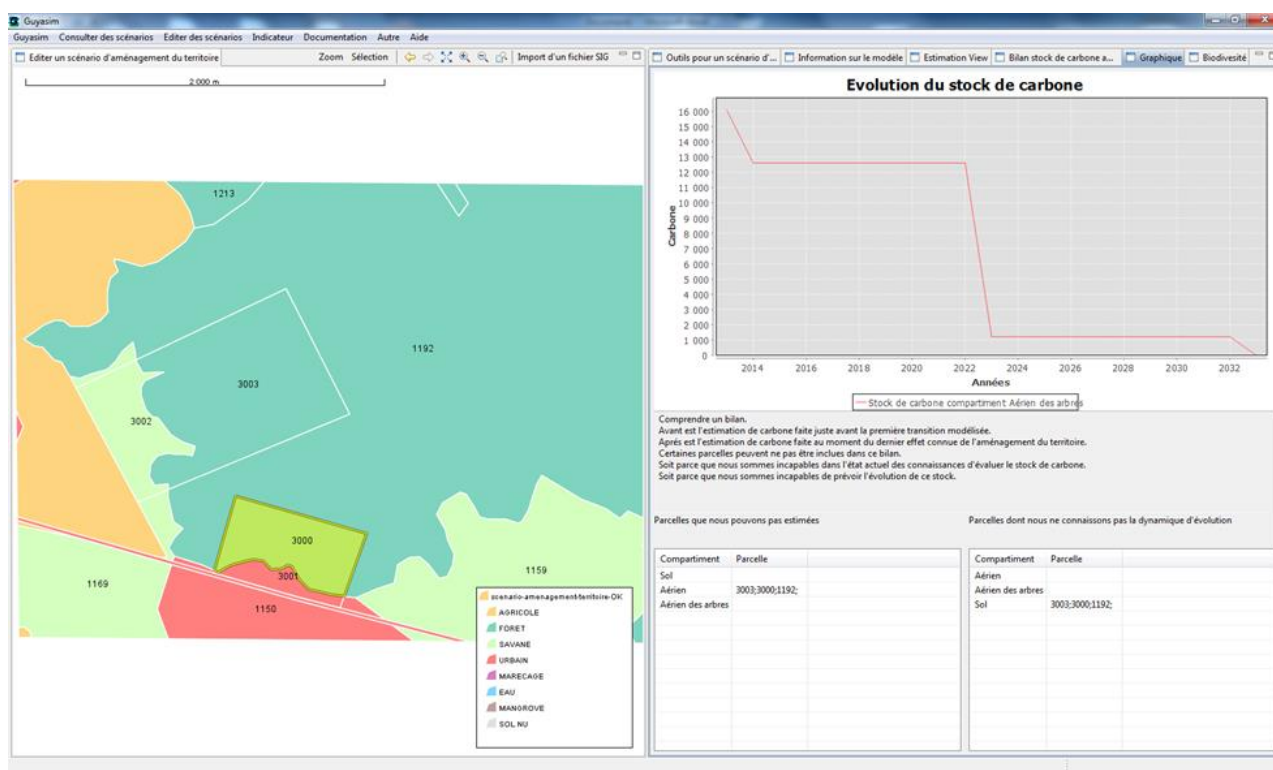


Figure 21 : Sorties et bilans d'un scénario d'aménagement communal

Scénarios d'aménagements forestiers

L'utilisateur peut sélectionner des parcelles et définir leurs types d'exploitation et leurs dates (cf. Figure 22). Une fois que le scénario est défini l'utilisateur peut évaluer son impact sur le stock de

carbone forestier. Les calculs réalisés sont affichés sous forme graphique et leurs bilans sous forme de tableau (cf. Figure 23).

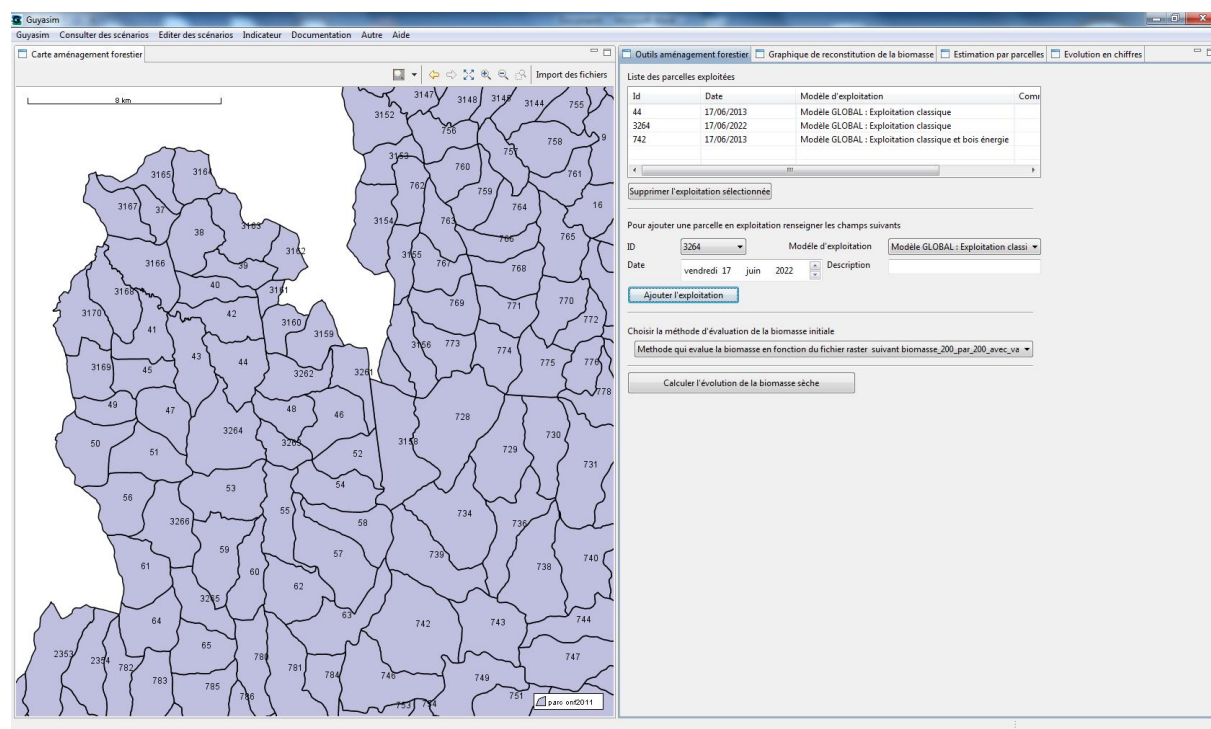


Figure 22 : Interface pour la sélection du parcellaire du domaine forestier et des scénarios d'exploitation

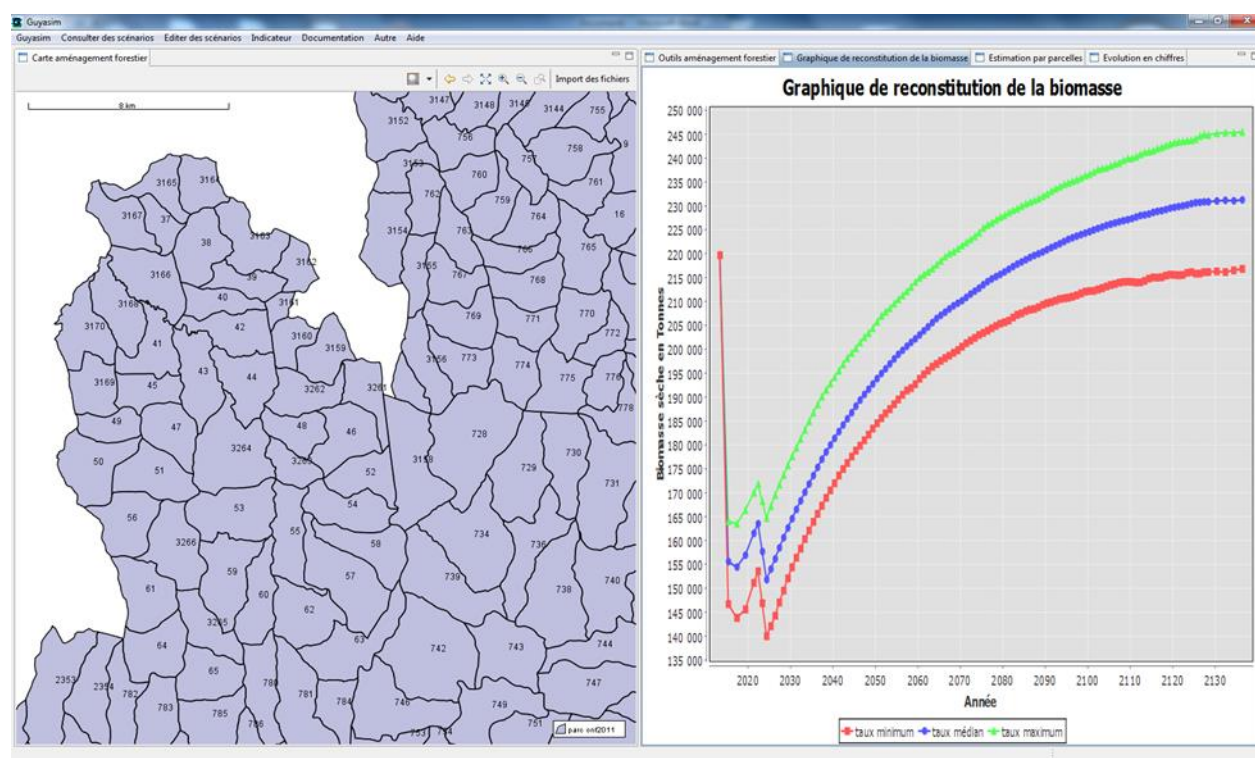


Figure 23 : Sorties et bilans d'un scénario d'aménagement forestier

4. Communication, promotion et valorisation de l'image des programmes européens

Supports de communication

Un site web présentant le projet et mettant à disposition différents documents a été construit. Son adresse est : <http://www.ecofog.gf/spip.php?article429>

Un prospectus de vulgarisation du projet a été réalisé dès le démarrage. Il est distribué lors des animations scientifiques et lors des réunions officielles. Le prospectus est remis à jours régulièrement durant la réalisation du projet et distribué lors des présentations publiques.

Le projet a été sélectionné pour être sur la brochure des projets guyanais financés par le Feder au sommet des Régions Ultra Périphériques de juillet 2012.

La version finale de logiciel GuyaSim et son manuel d'utilisation ont été installés sur des clés USB customisées pour permettre la diffusion du logiciel.

Actions de communication grand public

Distribution du logiciel GuyaSim à tous les participants et partenaires du projet courant juillet-août 2014.

Formation à l'utilisation du logiciel GuyaSim le 13 mai 2014 au centre IRD de Cayenne.

Restitution publique finale du projet GuyaSim le 13 mai 2014 à la Cité Administrative Régionale.

Présentation du logiciel GuyaSim et du projet lors de la journée de restitution des résultats du projet Cirad /Feder CARPAGG «CARbone des PATurages de Guyane et Gaz à effet de serre », mardi 1^{er} octobre 2013 à la cité administrative régionale.

Présentation du projet GuyaSim lors de la réunion du « Réseau Rural Guyane » le jeudi 18 octobre 2012 à médiathèque de Kourou.

Présentation des activités de recherche de l'UMR Ecofog, incluant le projet GuyaSim, à la conférence sur les « Trames vertes et bleues en Guyane » le 3 avril 2012 à la CACL

A l'issue du 1^{er} comité de pilotage une actualité présentant le projet a été mise en ligne sur le site web de la région : <http://www.cr-guyane.fr/actualites/un-nouvel-outil-daide-a-la-decision-guyasim->

Un article présentant le projet a été mise en ligne sur le site web d'information locale Guyaweb : <http://www.guyaweb.com/la-politique-d%E2%80%99amenagement-a-l%E2%80%99heure-du-rechauffement-climatique/>

Un reportage radio présentant le projet a été diffusé par Guyane 1^{ère} le 22 septembre 2011 aux journaux de 18h et 20h

Communications scientifiques

Communications dans des conférences

T. Dolley, V. Blanfort, G. Cornu, V. Rossi, *Guyasim, un outil d'aide à la décision pour évaluer des services écosystémiques de la forêt guyanaise*. Journée du Carbone des paturages de Guyane et gaz à effet de serre, Cayenne, Guyane française, octobre 2013

M. Aubry-Kientz, V. Rossi, JJ Boreux, B. Hérault, *Coupling growth and mortality models to detect climate drivers of tropical forest dynamics*, the International Society for Ecological Modelling Conference, Toulouse, France, octobre 2013

F. Wagner, V. Rossi, C. Stahl, D. Bonal, B. Hérault, *Integrating satellite and field measurement data to improve the understanding of carbon uptake by tree growth in French Guiana*, In Annual Meeting of the Association for Tropical Biology and Conservation, San José, Costa Rica, juin 2013

Wagner F., Aubry-Kientz M., Moore A.L., Molto Q., Rossi V., Hérault B., *Confronting satellite and field measurement data to improve the understanding of carbon uptake by tree growth in French Guiana*, Cayenne, 15ème Symposium SELPER L'Observation de la Terre pour un monde plus vert et plus solidaire, Cayenne, Guyane française, novembre 2012

Wagner F., Moore A., Rossi V., Hérault B., *Which climate indices are relevant for predicting the response of tropical forests to future climate scenarios?* International Meeting of the ATBC, Bonito, Brazil, 18-22 June 2012

Sist P., Mazzei L., Blanc L., Ruschel A., Rossi V., Kanshiro M. *Long term Impact of logging on carbon storage and tree diversity in the Amazon Basin*, International Meeting of the ATBC, Bonito, Brazil, 18-22 June 2012

Aubry-Kientz M., Ayotte-Trépanier C., Hérault B., Rossi V., *Towards trait-based mortality models for tropical forests?*, International Meeting of the ATBC, Bonito, Brazil, 18-22 June 2012

Aubry-Kientz M., Ayotte-Trépanier C., Hérault B., Rossi V., *Modélisation de la mortalité des arbres en forêt tropicale avec covariables incertaines*, 7^{ème} Rencontres Statistiques de Rochebrune, Rochebrune, France, 1 au 6 avril 2012

Sist P., Blanc L., Baraloto C. & Mazzei L. *Current knowledge of general patterns of biomass dynamics after logging in amazonian forests*. IUFRO Congress "Research priorities in tropical silviculture : towards new paradigms ?". Montpellier, France, 15-18 November 2011

Baraloto, C. *How can we use plant functional traits to predict tropical forest response to global changes ?* International Meeting of the ATBC and SCB Africa, Arusha, Tanzania, 12-16 June, 2011.

Wagner, F., Hérault, B., Stahl, C., Bonal, D., Rossi, V. (2011) *Assessing the impact of water availability on growth of neotropical trees*. International Joint Meeting of the ATBC and SCB Africa, Arusha, Tanzania, 12-16 June, 2011.

Articles dans des revues internationales à facteur d'impact

F. Wagner, V. Rossi, C. Baraloto, D. Bonal, C. Stahl, A. Trabucco, B. Hérault, [Are commonly measured functional traits involved in tropical tree responses to climate ?](#), International Journal of Ecology, vol. 2014, Article ID 389409, 10 pages (2014)

Q. Molto, B. Hérault, J.-J. Boreux, M. Daulet, A. Roustaud, V. Rossi, [Predicting Tree Heights for Biomass Estimates in Tropical Forests](#), Biogeosciences, 11, 3121-3130 (2014)

F. Wagner, V. Rossi, C. Stahl, D. Bonal, B. Hérault, [Asynchronism in leaf and wood production in tropical forests: a study combining satellite and ground-based measurements](#), Biogeosciences, 10: 7307-7321 (2013)

M. Aubry-Kientz, B. Hérault, C. Ayotte-Trépanier, C. Baraloto, V. Rossi, [Toward trait-based mortality models for tropical forests?](#), PLoS ONE 8(5): e63678 (2013)

F. Mortier, V. Rossi, G. Guillot, S. Gourlet-Fleury, N. Picard, [Population dynamics of species-rich ecosystems: the mixture of matrix population models approach](#), Methods in Ecology and Evolution, 4(4): 316–326 (2013)

Q. Molto, V. Rossi, L. Blanc, [Error propagation in biomass estimation in tropical forests](#), Methods in Ecology and Evolution, 4(2): 175–183 (2013)

F. Wagner, V. Rossi, C. Stahl, D. Bonal, B. Hérault, [Water availability is the main climate driver of neotropical tree growth](#), PLoS ONE 7(4): e34074 (2012)

B. Hérault, B. Bachelot, L. Poorter, V. Rossi, F. Bongers, J. Chave, C. E.T. Paine, F. Wagner and C. Baraloto, [Functional traits shape ontogenetic growth trajectories of rain forest tree species](#), Journal of Ecology, 99(6): 1431-1440 (2011)¹

F. Wagner, B. Hérault, C. Stahl, D. Bonal, V. Rossi, [Modeling water availability for trees in tropical forests](#), Agricultural and Forest Meteorology, 151(9): 1202-1213 (2011)¹

Rapports : activités, stages et thèse

Hélène Fargeon, *Réponse des Forêts exploitées de Guyane Française au stress hydrique*, Ecole Polytechnique, avril 2014

Solicaz, *Qualité Biologique des sols*, contribution à l'activité 1 du projet GuyaSim, juin 2013

Marianne Sanlaville, *Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales de la Guyane*, Bilan Activité 2 du projet GuyaSim, décembre 2012

Quentin Molto, *Estimation de biomasse en forêt tropicale humide, propagation des incertitudes dans la modélisation de la distribution spatiale de la biomasse en Guyane française*. Thèse de doctorat de l'Université de Antilles et de la Guyane, décembre 2012

Encadrement : Lilian Blanc, Bruno Hérault, Vivien Rossi

¹ Cet article contribue à l'avancée du projet GuyaSim mais il n'y fait pas explicitement référence dans les remerciements car la convention n'était pas encore signée au moment du dépôt.

Armelle Maurice, *Forest managers, decison-makers and practitioners : how do they value the current French Guianan protected network ?*, Master 2 Ecologie des Forêts Tropicales, Université des Antilles et de la Guyane, juin 2012
Encadrement : Bruno Hérault

Elodie Alliée, *L'assemblage des communautés d'arbre de Guyane Française*, Master 2 Biologie Végétale Tropicale, juin 2012
Encadrement : Christopher Baraloto

Jules-Maurice Madkau, *Mettre à plat les correspondances entre noms vernaculaires et identités botaniques des espèces présentes sur le site de Paracou*, Master1 Ecosystèmes Tropicaux Naturels et Exploités, Université de Antilles et de la Guyane, février 2012
Encadrement : Bruno Hérault

Charles Ayotte-Trépanier, *Modélisation bayésienne hiérarchique de réponses binaires à partir de covariables incertaines, application à l'étude de l'impact des variations climatiques sur la mortalité des arbres dans la forêt guyanaise*. Master2 Biostatistique, Université Montpellier 2, juin 2011.
Encadrement : Vivien Rossi et Bruno Hérault

Fait à Yaoundé le 28 aout 2014,



Vivien Rossi

Annexes

Compte-rendu du 1 ^{er} comité scientifiquep37
Compte-rendu du 1 ^{er} comité de pilotagep42
Compte-rendu du 2 ^{ème} comité scientifiquep49
Compte-rendu du 2 ^{ème} comité de pilotagep57
Compte-rendu du 3 ^{ème} comité scientifiquep62
Compte-rendu du 3 ^{ème} comité de pilotagep69
Cahier des charges du logiciel GuyaSimp77
Bilan de l'Activité 2 : Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales de la Guyanep156
Rapport Solicaz : Qualité biologique des solsp200

Comité scientifique n°1-GUYASIM

GUYASIM : Un simulateur, basé sur les dernières avancées scientifiques, pour explorer l'impact des scénarios de développement de la Guyane sur les services des écosystèmes forestiers

Date : mardi 20 septembre 2011 de 14h à 17h au Conseil Régional de Guyane.

Personnes présentes : C. Baraloto (Inra-Ecofog), L. Blanc (Cirad-Ecofog), V. Blanfort (Cirad-Selmet), O. Brunaux (ONF R&D), C. Charron (IRD), G. Cornu (Cirad-B&SEF), P. Courtiade (ADEME), A.-M. Domenach (Solicaz), S. Guitet (ONF R&D), B. Hérault (UAG-Ecofog), Q. Molto (UAG-Cirad), (A. Moore (Cirad-Ecofog), J.-C. Roggy (Inra-Ecofog), V. Rossi (Cirad-Ecofog), H. Schimann (Inra-Ecofog) et G. Verger (ONF SIG).

Déroulement de la réunion : Les quatre activités ont été discutées les unes après les autres. La stratégie de mise en œuvre, les tâches à réaliser ainsi que les difficultés potentielles ont été abordées.

Activité 1 – Spatialisation à l'échelle de la forêt des services environnementaux

Stock de carbone forestier aérien

Quentin Molto a présenté les derniers résultats concernant les incertitudes sur les estimations des stocks de carbone forestier à l'échelle de la parcelle. Il a également présenté les pistes envisagées pour extrapoler les estimations en-dehors des parcelles et sur d'autres sites.

Un point a été fait sur les données des différents dispositifs pouvant être utilisées pour spatialiser les estimations de services écosystémiques. Les sites pour les prochaines campagnes de terrain ont été choisis. Un calendrier provisoire pour les missions en forêt a été établi.

Sol

Pour le sol, deux informations intéressantes pour le projet ont été mises en avant. Le stock de carbone dans le sol et le fonctionnement du sol :

- Le stock de carbone dans le sol est assez mal connu, il est généralement estimé à 50% du carbone aérien en forêt. Sur les terres agricoles issues de déforestation, il semble que les pratiques influencent le volume du stock. Le projet Carpag collecte actuellement des données sur le sol de différents type de pâturages et Solicaz dans le cadre d'une collaboration avec le Cetiom récoltent des données sur le sol de différentes productions agricoles. Ces données devraient permettre d'avoir une idée plus précise de l'évolution du stock de carbone dans le sol des terres agricoles issues de déforestation.

- L'indicateur du fonctionnement du sol est l'objet de recherches du laboratoire de microbiologie des sols de l'UMR Ecofog. Il se base des mesures de « Respiration potentielle » et de « Dénitrification potentielle » de la biomasse active microbienne. Ces deux quantités permettent ainsi d'avoir une idée de l'état des populations bactériennes du sol.

En comparaison au stock de carbone aérien, beaucoup moins de données sont disponibles pour le sol. Il est raisonnable dans le cadre du projet d'obtenir des valeurs génériques pour la Guyane mais pas spécifique à chaque habitat écologique.

Les sites pour effectuer des nouvelles mesures sur le sol ont été sélectionnés. L'objectif étant de compléter la couverture des données pour être en mesure de quantifier la variabilité des indicateurs du sol avant la fin du projet.

Biodiversité

Le choix d'un indicateur de biodiversité pertinent pour l'aménagement du territoire a été largement débattu. La contrainte en Guyane est que la forêt est encore mal connue. Pratiquement lorsqu'une nouvelle zone forestière est inventoriée par des botanistes ou des naturalistes, il est fréquent qu'ils découvrent une ou plusieurs nouvelles espèces. La notion de rareté en Guyane est conditionnée à la connaissance que l'on a dans les zones inventoriées. Comme seulement une infime fraction de la forêt a été inventoriée cela soulève de nombreuses difficultés.

Il est en particulier impossible de prédire avec certitude la présence d'une espèce précise sur zone non inventoriée. Le logiciel ne pourra donc pas se substituer à une étude d'impact. Il a été convenu de travailler avec la bêta-diversité au niveau du genre pour comparer les habitats écologiques. Autrement dit, nous allons comparer la diversité des sites relativement les uns aux autres. Nous pourrions ainsi identifier des zones propices à contenir une grande diversité.

Activité 2 – Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales

Jean-Michel étant absent, nous avons entériné le programme ci-dessous :

Programme Activité 2 sur 2011/2012

Octobre 2011 à mars 2012 : Rencontre des différents acteurs de l'aménagement du territoire pour réaliser un état des lieux des projets d'aménagement et localiser les zones forestières susceptibles d'être aménagées.

Avril 2012 à Juillet 2012 : Réalisation de scénario de développement socio-économique pour les principaux pôles guyanais.

Aout 2012 à Septembre 2012 : Rédaction du rapport de synthèse

Recrutements Activité 2 en 2011/2012

VSC économiste environnementale 1 octobre 2011 au 31 septembre 2012

- Personne sélectionnée : Marianne Sanlaville
- Arrivée prévue le 3 octobre 2011

Missions Activité 2 en 2011/2012

- Marianne déplacements sur le littoral pour enquêter auprès des partenaires
- Marianne déplacements sur le fleuve pour analyser les dynamiques territoriales

Il est prévu que Vivien Rossi rencontre Jean-Michel Salles lors de sa prochaine mission à Montpellier pour valider avec lui ce programme.

Activité 3 – Scénarios d’impacts des changements climatiques pour les forêts guyanaise

Une difficulté majeure pour modéliser les forêts tropicales est leur grande diversité. Elles contiennent plusieurs centaines d’espèces à l’hectare ce qui exclu la possibilité de faire un modèle par espèce. Le choix de modéliser la communauté des espèces d’arbre en passant les traits fonctionnels a été validé par le comité scientifique.

Les variables climatiques accessibles sont l’ensoleillement, la température, le vent et les précipitations. Pour relier précisément les précipitations à la croissance des arbres, un modèle estimant l’eau disponible pour les plantes à partir des précipitations a été développé. Les travaux en cours laissent penser qu’en Guyane, de toutes les variables climatiques précitées, c’est la disponibilité en eau qui affecte le plus la croissance de arbres.

Le comité a validé la stratégie envisagée consistant à introduire les variables climatiques impactant la croissance dans un modèle de dynamique forestière basé sur les traits fonctionnels. Il sera ainsi possible par simulation d’évaluer l’impact des différents scénarios climatiques sur les communautés d’espèces constituant la forêt guyanaise.

Activité 4 – Réalisation du logiciel de simulation

Les discussions sur les autres activités ayant été très intenses, il n’a pas été possible dans le temps imparti au comité de discuter de l’activité 4. Guillaume Cornu et Vivien Rossi se sont réunis le 21 septembre pour définir le programme ci-dessous pour l’activité 4.

Programme Activité 4 sur 2011/2012

Réalisation du cahier des charges (fin mars)

- Premier jet d’un questionnaire à remplir lors des visites des partenaires dans le cadre de l’activité 2. (avant 15 octobre)
- Finalisation du questionnaire en intégrant les travaux de synthèses des scénarios d’aménagement de l’activité 2 (fin novembre)
- Validation du questionnaire avec deux partenaires (début décembre ou début janvier).
Partenaires ciblés : ADEME, ARUAG ou EPAG ?

- Tour des partenaires pour remplir le questionnaire avec une équipe composée d'un informaticien, d'un socio-économiste et éventuellement un responsable du projet. (janvier ou début février). Partenaires ciblés : service aménagement de la Région, Service aménagement ONF, ADEME, BRGM, DAAF, DEAL, EPAAG, ARUAG, Conseil général ?
- Première synthèses des réponses aux questionnaires et rédaction d'un document de travail en vue de l'élaboration du cahier des charges (février)
- Atelier avec les partenaires de présentation et validation du document (avant fin février)
- Rédaction du cahier des charges (mars)
- Soumission aux partenaires pour approbation (avant fin mars)

Création du prototype d'interface utilisateur à partir du cahier des charges (fin juin)

- Choix techniques en fonction des retours sur le cahier des charges (janvier à mars) :
 - Langage (JAVA)
 - SIG (udig, Jump)
 - Système de stockage des données (SQL, NoSQL)
- Développement de l'interface de l'application (mars à juin)
 - Construction des formulaires (fenêtres)
 - Mise en place de la cinématique
- Atelier de présentation pour validation de l'interface avec les partenaires (fin juin)

Mise au point d'un prototype du logiciel complet (fin septembre)

- Constitution d'un jeu de données pour les tests (fin juin)
- Mettre en place la saisie d'un scénario (juillet - septembre)
- Développement du moteur d'évolution (juillet - septembre)
- Exportation des résultats : rapports, cartes, graphiques (octobre)
- Interopérabilité avec d'autres logiciels (selon besoins)

Programme prévisionnel Activité 4 après 2012

Finalisation du logiciel (juin 2013)

- Tests fonctionnels (octobre 2012)
- Formalisation de la constitution de la base de données des paramètres
- Démonstration et validation auprès des partenaires (janvier 2013)
- Ajustements (février 2013)
- Manuel d'utilisation, formation à l'utilisation (mars-avril 2013)
- Réception du logiciel par les partenaires (mai 2013)
- Transfert du logiciel à l'observatoire du carbone (juin 2013)

Mise à jour de la base de données des paramètres (clôture du projet)

Recrutements Activité 4 en 2011/2012

CDD analyste programmeur 1 janvier 2012 au 30 juin 2013

- Lancement procédure administrative début octobre
- Publication de l'offre au plus tard début novembre
- Jury du 5 au 9 décembre

Missions Activité 4 en 2011/2012

- Guillaume en Guyane 1ère semaine de décembre pour la validation du questionnaire
- Vivien à Montpellier 2ème semaine de décembre pour le jury de recrutement
- CDD en Guyane mi-janvier à février pour faire remplir le questionnaire par les partenaires et rédiger le cahier des charges.
- CDD en Guyane fin juin pour présenter l'interface du logiciel aux partenaires.
- Guillaume en Guyane en septembre présentation du prototype au comité de pilotage

Comité de pilotage n°1-GUYASIM

GUYASIM : Un simulateur, basé sur les dernières avancées scientifiques, pour explorer l'impact des scénarios de développement de la Guyane sur les services des écosystèmes forestiers

Date : mardi 20 septembre de 10h à 12h au Conseil Régional de Guyane.

Ils parlent de Guyasim...

Le Conseil Régional (22/09/2011)

<http://www.cr-guyane.fr/actualites/un-nouvel-outil-daide-a-la-decision-guyasim->

Guyaweb (21/09/2011)

<http://www.guyaweb.com/la-politique-d%E2%80%99amenagement-a-l%E2%80%99heure-du-rechauffement-climatique/>

Guyane 1^{ère} radio (21/09/2011)

Reportage diffusé aux journaux de 18h et 20h

Déroulement de la réunion :

Ouverture du Comité de pilotage

Vivien Rossi coordinateur du projet GUYASIM

Tour de table des participants

C. Baraloto (Inra-Ecofog), D. Binet (ONF), L. Blanc (Cirad-Ecofog), V. Blanfort (Cirad), I. Bonjour (MFBG/CCIG), O. Brunaux (ONF), E. Brunstein (Solicaz), A. Bruyère (EPAG), A. Carpentier (DEAL), L. Coïc (DRRT), C. Charron (IRD), G. Cornu (Cirad), P. Courtiade (ADEME), O. Damone (Guyane Première), A.-M. Domenach (Solicaz), V. Dos Reis (Kawata), S. Guitet (ONF R&D), B. Hérault (UAG-Ecofog), L. Kelle (WWF), N. Lama (CCCL), J. Lefol (Région Guyane), Q. Molto (UAG-Ecofog), S. Mondesir (Conseil Général), A. Moore (Cirad-Ecofog), S. Pons (ADEME), M. Putterich (DEAL), J.-C. Roggy (Inra-Ecofog), F. Roubaud (Guyane Technopole), V. Rossi (Cirad-Ecofog), M. Sagne (Région Guyane), H. Schimann (Inra-Ecofog), H. Sider (Région Guyane) et N. Surugue (PAG).

Mot d'accueil

*Hélène Sirder, 2^{ème} vice-présidente du Conseil Régional,
Déléguée à l'Environnement et développement durable*

Madame Sirder a souligné l'adéquation entre le projet GUYASIM et les axes de la mandature du président de Région, à savoir le développement endogène de la Guyane et la gestion durable des ressources dont les thématiques de biodiversité et politique carbone font partis intégrantes.

Ce projet de recherche permettra de voir la création d'un simulateur d'aide à la décision. Un outil adapté qui renseignera la Région dans ces décisions de politique d'aménagement afin de concilier le

développement du territoire conduit par la forte croissance démographique avec l'avancement sur la forêt et sa conservation.

Madame Sirder a également évoqué des attentes quant aux retombées économiques et financières du patrimoine naturel guyanais.

Ce fut également l'occasion pour Madame Sirder d'annoncer la mise en place de l'observatoire carbone prévue en novembre prochain en évoquant le besoin d'outils adaptés dans la mise en place de politiques novatrices.

Présentation des objectifs du comité de pilotage

Vivien Rossi, coordinateur du projet GUYASIM

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/PresentationGuyasim.pdf>

Ce comité de pilotage a eu pour but de réunir les acteurs de l'aménagement. Son objectif principal a été de marquer le début des discussions entre scientifiques et acteurs de l'aménagement quant à l'adéquation des résultats attendus du projet.

Vivien Rossi a également souligné les enjeux contradictoires pouvant exister entre, d'une part les enjeux locaux de développement, et d'autre part les enjeux nationaux qui conduisent à limiter la déforestation notamment via des dispositifs tels que REDD+. Dans ce contexte, le projet GUYASIM vise à fournir les informations nécessaires afin que les décisions soient prises en connaissance de cause.

Vivien Rossi a expliqué que le projet est constitué de deux grandes composantes avec des finalités distinctes :

- La première composante concerne des activités de recherche sur services écosystémiques fournis par la forêt en termes de stockage de CO₂, du rôle des sols et de la biodiversité avec une finalité d'acquisition de connaissances.
- La deuxième composante concerne une activité de développement de logiciel d'aide à la décision avec une finalité de transfert de connaissances vers les décideurs locaux.

Présentation de l'activité 1 : Spatialisation à l'échelle de la forêt des services environnementaux

Chris Baraloto & Lilian Blanc, chercheurs à l'UMR ECOFOG responsables de l'activité 1

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/PresentationActivite1.pdf>

Questions/Réponses

Est-ce que seront pris en compte le maintien du bon état des cours d'eau entrent dans le champ d'évaluation ?

Lilian Blanc : On ne dispose pas des compétences localement. Actuellement, nous préférons nous concentrer sur les données dont nous disposons et que nous maîtrisons.

Chris Baraloto : Dans un premier temps, nous allons nous attacher à fédérer les données existantes. Mais nous créerons un cadre où il sera possible d'intégrer d'autres données par la suite.

Suzanne Pons : Est-ce que les données de mesures directes dans le sol seront intégrées ?

Lilian Blanc : Oui.

Anne-Marie Domenach : Est-ce que le logiciel sera suffisamment intuitif/accessible ?

Vivien Rossi : Nous devons décider ensemble du niveau de complexité du logiciel. Plus le logiciel sera fourni en données, plus la complexité sera grande. Cela va donc dépendre de qui va utiliser le logiciel et pour faire quoi.

Anne-Marie Domenach : La dimension économique des services écosystémiques sera-t-elle incluse ?

La tendance mondiale va vers la valorisation économique des services, pourra-t-on aller jusque-là dans le logiciel?

Vivien Rossi : Ce n'est pas prévu, mais cela peut-être fait indépendamment.

Lorsque les données économiques existent, c'est faisable de les lier. Là se pose un problème de choix : est-ce le genre d'informations dont on veut disposer ? C'est faisable mais est-ce nécessaire ?

Le logiciel sera-t-il en mesure les résultats fournis le logiciel entre un territoire en fonction du devenir de la parcelle déforestée (pâturages, urbain, minier...) ?

Lilian Blanc : Oui, il est possible d'éclairer le gain de CO² selon telle ou telle préparation du sol. Des travaux existent déjà avec le CETIOM.

Vincent Blanfort : c'est l'objectif du projet CARPAGG : qu'est ce qui se passe quand on transforme la forêt en pâturages ? Le projet Carpagg viendra donc compléter GUYASIM.

Hélène Sirder : Dans le projet, quel appui vous apporte par la Réserve Trésor ?

Lilian Blanc : Ce sont des partenaires privilégiés, à part entière avec qui nous travaillons déjà et avec qui nous avons déjà collaboré au sein du projet GUYAFOR.

Marc Sagne : La connexion avec les flux de carbone sera-t-elle faite ?

Lilian Blanc : Oui, le projet sera lié avec Guyaflux, à la fois pour les forêts naturelles et pour les forêts exploitées. Dans ce deuxième cas, on suit l'évolution après exploitation lors de la régénération. GUYASIM devrait permettre d'estimer les stocks de carbone dans les sols et dans les arbres, et aussi les flux de carbone.

Jérôme Lefol : Comment pallier l'absence d'homogénéité des données entre les sites et les divergences de connaissance ?

Lilian Blanc : Les dispositifs ne couvrent pas l'intégralité du territoire et certaines grandes zones forestières sont méconnues. Les projets menés actuellement par l'UMR Ecofog et complémentaires de Guyasim (GuyaSpace, ClimFor) vont permettre de combler partiellement ces lacunes en installant des dispositifs sur quelques zones. Cependant, la priorité concerne la zone côtière sur laquelle nous disposons de beaucoup de données, zone qui sera soumise dans le futur à de fortes pressions.

Pierre Courtiade : Le méthane constitue le gaz à effet de serre le plus puissant, plus que le CO₂. Est-ce qu'il y aura un distinguo de fait entre les deux ressources, CO₂ et CH₄ ?

Chris Baraloto : A l'heure actuelle, le dispositif Guyaflux est l'un des seuls qui nous permette de mesurer les quantités respectives de chacun de ces gaz. Il est possible de faire la distinction à la condition de disposer des équipements nécessaires, que nous n'avons pas.

Jean-Christophe Roggy : Nous avons commencé des analyses avec le CETIOM sur leurs données pour le CO₂ et le N₂O.

Vincent Blanfort : 14% de la production de méthane est attribué à l'élevage. Nous travaillons actuellement en partenariat avec la Guadeloupe. Il sera intéressant dans le projet d'établir des équivalences de CO₂ avec les différents gaz afin de pouvoir émettre un bilan pour les différentes activités. L'enjeu est également de pérenniser les dispositifs actuels de mesure, car il est nécessaire de disposer de données sur le long terme pour faire des analyses fiables.

Jean-Christophe Roggy : En effet, les données de suivi de long terme en notre possession sont essentiellement issues des forêts naturelles.

Marc Sagne : Est-il possible d'évaluer la réactivité d'un écosystème après un changement d'occupation ?

Jean-Christophe Roggy : Oui, nous développons actuellement des bioindicateurs pour évaluer les services rendus par le sol.

Marc Sagne : Est-ce que les commandes spéciales seront possibles ?

Jean-Christophe Roggy : Je vous invite à contacter la start-up SOLICAZ issue du projet Qualisol.

Présentation de l'activité 2 : Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales

*Jean-Michel Salles, chercheur CNRS, responsable de l'activité 2
(en son absence, la présentation a été faite par Vivien Rossi)*

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/PresentationActivite2.pdf>

Questions/Réponses

Laurent Kelle : Le WWF a commandité un rapport sur l'évolution des cultures d'abatis en partenariat avec le Parc. Nous pouvons vous le transmettre si cela vous intéresse ?

Vivien Rossi : Nous acceptons volontiers et vous remercions. Par ailleurs, nous sommes preneurs de tous documents ou rapports en lien avec le projet que les partenaires pourraient nous mettre à disposition.

Il est possible que la réalisation de certains projets d'aménagements ne soit pas conforme au plan initial voire même ne se réalise pas. Les évolutions des services ne seront donc pas certaines. Avez-vous prévu d'en tenir compte ?

Bruno Hérault : Une partie du projet travaille sur la quantification des incertitudes afin de déterminer la confiance que l'on peut avoir sur cette évaluation pour prendre les précautions nécessaires.

Sera-t-il possible d'évaluer les évolutions des services lors la mise en place de concession minière ? Est-ce que l'on pourra comparer les différentes pratiques de réhabilitation des zones minières ?

Jean-Christophe Roggy : On peut s'appuyer ici sur les données de l'ONF qui a réalisé une étude sur la déforestation résultant de l'activité aurifère entre 2000 et 2008. Ces données seront mises à contribution pour le projet.

Présentation de l'activité 3 : Scénarios d'impacts des changements climatiques pour les forêts guyanaises

Bruno Hérault & Vivien Rossi, chercheurs à l'UMR Ecofog, responsables de l'activité 3

support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/PresentationActivite3-ppt97.pdf>

Questions/Réponses

Hélène Sirder: S'il y a perte de couverture, peut-on définir où celle-ci aura lieu ?

Bruno Hérault : Il existe des données à l'échelle de l'Amazonie. Les principales zones concernées seront le sud et l'ouest. A l'aide des stations météo financées par le projet Climfor, il nous sera possible de voir si ces informations se confirment.

Marc Sagne: Les données météo seront-elles croisées ?

Vivien Rossi : Ce n'est pas prévu. Nous disposons de deux sources de données.

D'une part les données fournies par un satellite de la Nasa via TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) qui estime la pluviométrie sur 90% des jours/mois.

D'autre part, nous confronterons ces données avec celles que nous recueillerons sur la zone côtière via météo France et nos 4 ou 5 stations financées par Climfor.

David Binet: Est-ce que le logiciel permettra d'ajuster les prévisions de risque pour le territoire ?

Vivien Rossi : nous envisageons d'intégrer la montée des eaux.

Bruno Hérault : Il est important de préciser que nous n'allons rien prévoir. Nous allons donner les informations selon les scénarii. On va utiliser tous les scénarii fournis par le GIEC, mais nous n'allons pas choisir de scénario.

Chris Baraloto : On va pouvoir regarder les scénarii possibles et les appliquer selon le schéma de développement choisi. Le logiciel permettra de simuler certains scénarii de certaines actions de développement.

David Binet : Sera-t-il possible de nourrir la réflexion en termes d'adaptation des moyens d'intervention et de prévention des risques ?

Bruno Hérault : le logiciel s'applique uniquement à fournir les informations. La mise en place d'organisation de prévention ou d'intervention relève de choix politiques qui ne nous incombent pas.

Chris Baraloto : Au Brésil un groupe de chercheurs (IPAM) fait une étude sur les risques d'incendies. Les données peuvent éventuellement être intégrées au projet.

Présentation de l'activité 4 : Réalisation du logiciel de simulation

Guillaume Cornu, chercheur au CIRAD, responsable de l'activité 4

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/PresentationActivite4.pdf>

Questions/Réponses

Christophe Charron : Quelle évolution est prévue pour le logiciel ?

Vivien Rossi : La première étape est la constitution d'une base de données.

Ensuite il conviendra de trouver un compromis entre complexité et accessibilité. Ce compromis sera défini avec l'ensemble des acteurs impliqués et explicité dans le cahier des charges.

Quentin Molto : La licence du logiciel sera-t-elle libre ?

Guillaume Cornu : Oui, le projet est destiné aux acteurs grands publics. De plus, les financements sont publics.

Pierre Courtiade : Comment l'outil sera mis à jour ? A qui incombe la responsabilité de la mise à jour et de l'entretien du logiciel après le projet ?

Vivien Rossi : Après le projet, ce qui est prévu est de confier la gestion du logiciel à l'observatoire du carbone, qui pourra redistribuer cette base de données et procéder aux mises à jour. Mais rien n'est encore gravé dans le marbre.

Jean-Christophe Roggy : Qui fera la mise à jour ?

Vivien Rossi : C'est la responsabilité du scientifique de transférer ses compétences.

Suzanne Pons : L'observatoire de l'énergie se transforme progressivement en observatoire de l'énergie et des gaz à effet de serre. La collaboration avec les homologues brésiliens et l'utilisation des données du GIEC constituent des garanties pour le projet, gages d'efficacité et de résultats.

Quelle est la durée du projet ?

Vivien Rossi : 3 ans. Nous allons commencer dès janvier afin d'établir une première carrosserie du logiciel. Pour ce faire nous irons à la rencontre de tous les acteurs afin d'écrire le cahier des charges en collaboration.

Suzanne Pons : Ces résultats vont s'avérer très intéressants au moment de préparer le contrat de plan Etat-Région.

Pierre Courtiade : Y'aura-t-il une distinction entre la partie stock de carbone et la partie flux dégagés par les projets ?

Vivien Rossi : Nous disposons de données fiables sur l'évaluation du stock. Quant à l'évaluation du flux, à l'heure actuelle nous avons des données très localisées pour lesquelles il reste à déterminer le niveau de confiance avec lequel nous pouvons étendre ces résultats.

Les flux issus de la déforestation pour la construction de zones urbaines seront pris en compte.

Suzanne Pons : C'est ce qui nous intéresse : le delta entre le flux et le stockage car rémunérateur. Il est intéressant d'harmoniser les pratiques afin de permettre les comparaisons.

Vivien Rossi : Il conviendra de définir et répertorier les pratiques existantes au moment du cahier des charges.

David Binet : Est-ce que le logiciel permettra de prendre en compte les distinctions entre un bois coupé transformé en bois d'œuvre, un bois brûlé pour l'exploitation sur abattis etc. ?

Vivien Rossi : Oui, nous voulons être sûrs que nous n'oublions rien.

Chris Baraloto : En amont, il faudra définir l'ensemble des activités type forestier, pâturages etc., afin de les prendre en compte.

Vincent Blanford : Nous possédons des données obtenues localement, sur des parcelles. L'enjeu réside dans la validité et la spatialisation de ces données à plus grande échelle. A l'échelle de la forêt, nous disposons de beaucoup de monde.

Chris Baraloto : L'objectif à long terme est de réduire les incertitudes relatives à cette spatialisation.

Vivien Rossi : C'est là l'objectif des chercheurs.

Suzanne Pons : Je tiens à insister sur l'importance d'un tel outil dans les outils européens 2014-2020 afin d'aboutir à une méthode de référence en Amazonie. Il convient de discuter avec l'Union européenne.

Hélène Sirder : A l'heure actuelle, il n'existe pas d'outils appropriés. Ceux-là restent à inventer. Ainsi, GUYASIM constitue un outil local adapté, où la forêt n'est plus utilisée comme un élément de contrainte.

Laurent Kelle : Le Guyana s'est déjà lancé dans ce type de pratique. 250 000 millions de dollars leur ont été alloués pour la non déforestation. C'est une source d'inspiration pour l'échelle locale.

Jean-Christophe Roggy : A ce titre, il existe un rapport très intéressant rédigé par le centre d'analyse stratégique en 2009 (cf. http://www.economie.eaufrance.fr/IMG/pdf/rapport_bio_v2.pdf)

Pierre Courtiade : Il est important de positionner les évaluations de coûts carbone des projets dans le contexte du développement endogène. Il faut développer un argumentaire carbone notamment face aux produits importés. Il serait préférable d'utiliser des méthodes internationales reconnues pour évaluer le stock de carbone pour ne pas être sur des choses trop attaquables dans les négociations internationales.

Lilian Blanc : Il est nécessaire de disposer de structures de relais pour exploiter cet outil.

L'observatoire carbone constituerait ainsi ce relais de discussions avec les décideurs locaux, français ou européens. Cette structure intermédiaire disposerait d'un poids sur la scène nationale.

Comité scientifique n°2-GUYASIM

GUYASIM : Un simulateur, basé sur les dernières avancées scientifiques, pour explorer l'impact des scénarios de développement de la Guyane sur les services des écosystèmes forestiers

Date : mercredi 19 septembre 2012 de 9h à 13h au Campus Agronomique de Kourou

Personnes présentes : C. Baraloto (Inra-Ecofog), V. Blanfort (Cirad-Selmet), G. Cornu (Cirad-B&SEF), L. Descroix (ONF R&D), T. Dolley (Cirad-Ecofog), A.-M. Domenach (Solicaz), B. Hérault (UAG-Ecofog), B. Leudet (CNRS-Ecofog), A. Moore (CNRS-Ecofog), P. Petronelli (Cirad-Ecofog), J.-C. Roggy (Inra-Ecofog), V. Rossi (Cirad-Ecofog), J.-M. Salles (CNRS-Lameta), M. Sanlaville (Cirad-Ecofog), H. Schimann (Inra-Ecofog) et C. Stahl (Cirad-Selmet).

Déroulement de la réunion : Vivien Rossi a ouvert la réunion en précisant le programme et les attentes pour ce comité. Ensuite les quatre activités ont été discutées les unes après les autres. L'état d'avancement, les tâches restant à réaliser ainsi que les difficultés potentielles ont été abordées.

Ouverture du Comité de pilotage

Vivien Rossi, coordinateur du projet GUYASIM

Nous allons consacrer plus de temps aux activités 2 et 4 lors de ce comité. L'activité 2 est quasiment terminée, ce sera l'occasion de faire un bilan des résultats obtenus. L'activité 4 sera dans une phase déterminante l'année prochaine, il est donc essentiel de s'accorder à présent sur plusieurs points. Pour les activités 1 et 3, si besoin, nous ferons une réunion du Comité Scientifique restreint ultérieurement.

Nous allons donc discuter tout d'abord des activités 1 et 3 en se limitant à environ ½ heure pour chaque. Ensuite nous passerons aux activités 2 et 4 en se limitant à environ 1 heure pour chaque. Nous consacrerons la dernière ½ heure aux discussions générales.

Activité 1 – Spatialisation à l'échelle de la forêt des services environnementaux

Stock de carbone forestier aérien

Vivien Rossi, coordinateur du projet GUYASIM

Vivien Rossi a exposé les résultats obtenus sur l'estimation du stock de carbone forestier aérien. Dans le cadre de sa thèse, Quentin Molto, a réalisé une première carte du stock de carbone forestier aérien à l'échelle de la Guyane. Nous avons également quantifié les

incertitudes, en réalisant deux autres cartes du stock de carbone forestier aérien : une pour les estimations pessimistes et une pour les estimations optimistes. Ces cartes intègrent les données du réseau Cirad-ONF « Guyafor » et de l'inventaire papetier réalisé par l'ONF. L'extrapolation spatiale hors de parcelles d'inventaire a été faite par l'intermédiaire de variables environnementales.

D'ici fin octobre nous allons affiner ces cartes en intégrant l'auto-corrélation spatiale dans le modèle d'extrapolation.

Questions/Réponses

Chris Baraloto : Est-ce que l'on prend en compte les forêts dégradées dans les estimations ?

Laurent Descroix : Cette question est importante pour les forêts secondaires de la bande côtière

Vivien Rossi : Nous sommes entrain d'achever le développement d'un modèle d'exploitation forestière qui permet d'évaluer la reconstitution du stock après une exploitation. Ce modèle sera pleinement opérationnel avant le fin octobre. Ainsi, si nous connaissons les dates de mise en exploitation d'une zone et l'intensité de l'exploitation, nous pourrions en tenir compte dans les estimations de biomasse.

Laurent Descroix : Comment sont prises en compte les parcelles agricoles abandonnées ?

Vivien Rossi : Pour l'instant elles ont considérées comme des parcelles déforestées. Elles ne comptent pas dans le bilan du carbone forestier aérien. Si nous avions des données les concernant nous pourrions mieux les prendre en compte.

Chris Baraloto : Il faudrait également prévoir de récolter, à l'avenir, des données sur les forêts en lisière de savane.

Laurent Descroix : Eric Nicolini (Cirad-Amap) a monté un projet avec l'ONF pour étudier les espèces d'arbres des lisières. Nous pourrions ainsi avoir des données à l'issue de son projet.

Chris Baraloto : Ce serait très intéressant d'avoir ces données car les lisières de forêts risquent d'être très impactées par les changements climatiques.

Thomas Dolley : Est-ce qu'il est prévu de mettre des dispositifs forestiers de suivi permanent dans les forêts de lisière ?

Laurent Descroix : C'est exclu car ces forêts ne seront pas exploitées.

Vincent Blanfort : Comment seront gérées les parcelles agricoles ?

Thomas Dolley : Il existe différentes classes pour les parcelles : forêt, agricole, urbain ...

Vincent Blanfort : Est-ce que nous pourrions différencier les parcelles agricoles pérennes et non pérennes ?

Chris Baraloto : Est-ce qu'il existe des shapes des répartitions ?

Thomas Dolley : Il y a des informations sur les cartes d'occupation du sol de l'ONF

Vincent Blanfort : Il y a aussi des données au Cetiom.

Chris Baraloto : Il faut structurer le logiciel GuyaSim pour pouvoir intégrer ces données lorsqu'on les aura.

Vivien Rossi : Nous reviendrons sur ce point lors des discussions autour de l'activité 4.

Biodiversité

Chris Baraloto, responsable de l'activité 1

Chris Baraloto a exposé l'état d'avancement de la caractérisation de la biodiversité à l'échelle de la Guyane. Nous visons de faire une carte des « hot-spots » régionaux de biodiversité en se basant sur un découpage de la Guyane en polygone. Ces « hot-spots » signaleront les espèces rares au niveau du genre. Pour le découpage des polygones nous utiliserons les données du projet ONF Habitats. Pour les abondances des espèces, en plus des données sur les arbres, nous pourrions utiliser les données d'abondances des mammifères de l'ONCFS. Ces données mettent en évidence un lien entre la chasse et l'abondance relative des espèces. Les premières analyses des données habitats montrent que la désignation des « habitats » explique bien les variations d'abondance.

Il faudrait fédérer d'autres jeux de données. Mais en général, il faut attendre que les propriétaires des données les aient valorisées avant de pouvoir les utiliser.

Questions/Réponses

Vivien Rossi : Quelles données peut-on utiliser aujourd'hui ?

Chris Baraloto : La carte de découpage des habitats de l'ONF est soumise pour publication. Dès qu'elle sera publiée, on peut raisonnablement espérer d'ici 1 ou 2 mois, nous pourrons l'utiliser.

Vivien Rossi : Pour les données de l'ONCFS ?

Heidi Schimann : Elles ne sont pas encore publiées, il faut en discuter avec Cécile Richard de l'ONCFS.

Chris Baraloto : Il existe aussi des données sur les amphibiens et poissons dans les rivières. Cela pourrait être utile pour évaluer la qualité de l'eau.

Vivien Rossi : Quelle carte de biodiversité peut-on raisonnablement espérer avoir d'ici juin 2013 ?

Chris Baraloto : Une carte des « hot-spots » basée sur les habitats

Chris Baraloto : Il y a également beaucoup de données sur les insectes. Mais il y a un travail méthodologique important préalable à leur intégration dans la carte. Car beaucoup de données sont issues d'entomologistes amateurs et les protocoles de collecte sont très variables.

Heidi Schimann : Dans le cadre du Labex Ceba nous aurons des informations sur la présence-absence des espèces de champignons que nous essaierons de mettre en relation avec la répartition des espèces végétales.

Chris Baraloto : Normalement nous pourrions récupérer les données utilisées pour faire les ZNIEF car se sont des données publiques. Il faut adresser une demande à Biotope.

Thomas Dolley : Ce serait mieux que les premières cartes de biodiversités soient disponibles dès avril.

Chris Baraloto : Nous pourrions faire une première carte mais nous la mettrons à jour ensuite.

Thomas Dolley : C'est d'accord, l'important c'est que le format des données ne change pas.

Indicateurs de fonctionnement du sol

Jean-Christophe Roggy, référant « sol » pour l'activité 1

Jean-Christophe Roggy a exposé l'état d'avancement de la construction d'un indicateur de fonctionnement du sol. L'indicateur devrait permettre d'évaluer le capital naturel du sol. Nous avons des données en forêt naturelle et en forêt exploitée pour comparer et valider l'indicateur. Nous pourrions ainsi grâce à l'indicateur évaluer la qualité des sols suivant le type et le niveau de perturbation.

Questions/Réponses

Chris Baraloto : Comment va-t-on extrapoler les valeurs de l'indicateur en dehors des parcelles où l'on a réalisé les prélèvements ?

Jean-Christophe Roggy : Sur les forêts de plateau, le découpage en habitats semble cohérent sur 3 répétitions.

Chris Baraloto : Est-ce qu'il y a des interactions entre habitats et perturbations ?

Jean-Christophe Roggy : Nous n'avons pas assez de données pour l'étudier.

Vivien Rossi : Sur combien d'habitats a-t-on des données ?

Jean-Christophe Roggy : Essentiellement sur les habitats côtiers.

Chris Baraloto : Est-ce que nous devons fournir un chiffre pour l'indicateur sol dans le logiciel ?

Vivien Rossi : Nous pourrions donner des chiffres dans le logiciel en précisant qu'ils ne sont pas certifiés.

Laurent Descroix : Nous devrions pondérer les indicateurs selon le niveau de confiance que nous disposons.

Bruno Hérault : Nous pourrions mettre une hiérarchie sur le niveau de confiance.

Thomas Dolley : Il faut donc que le niveau de confiance des indicateurs soit déterminé.

Jean-Christophe Roggy : Nous pouvons estimer la biomasse dans le sol sur les habitats côtiers.

Anne-Marie Domenach : L'IRD a réalisé des mesures physico-chimiques du sol sur toute la bande côtière.

Chris Baraloto : S'il existe des corrélations entre les mesures physico-chimiques et l'indicateur ce serait un bon moyen pour l'extrapoler.

Vivien Rossi : Est-ce que nous pourrions accéder à ces données de l'IRD ?

Anne-Marie Domenach : Normalement oui, je dois les rencontrer la semaine prochaine je leur demanderai.

Activité 3 – Scénarios d’impacts des changements climatiques pour les forêts guyanaise

Bruno Hérault, responsable de l’activité 3

Bruno Hérault a exposé l’état d’avancement de la construction des scénarios de changements climatiques et de l’évaluation de leurs impacts sur la forêt guyanaise. Nous allons produire prochainement des cartes de vulnérabilité climatique à différents pas de temps. Les scénarios de changements climatiques utilisés seront ceux définis par l’IPCC. Fabien Wagner (Cirad-Ecofog) a contacté Météo France, ils ne seront pas en mesure de faire une descente d’échelle pour la Guyane du modèle climatique global utilisé par l’IPCC. Nous utiliserons donc les prédictions du modèle global pour déterminer les zones de Guyane concernées par la baisse de pluviométrie. Afin de déterminer les zones vulnérables nous allons croiser les cartes de précipitations prédites et les cartes d’évapotranspiration de la Guyane. Lorsque l’évapotranspiration est supérieure aux précipitations les forêts tropicales sont menacées. Pour affiner les zones de vulnérabilité, nous prendrons également en compte la durabilité de la saison sèche à partir des scénarios de l’IPCC à partir d’un indicateur simple : nombre de jours où la pluviométrie est inférieure à 1.5mm. Si ce nombre dépasse 120, la forêt tropicale ne peut pas se maintenir.

Pour caractériser l’impact des changements climatiques sur le fonctionnement de la forêt et sa composition floristique, nous développons un simulateur de dynamique forestière intégrant des variables climatiques. Ce travail s’effectue dans le cadre de la thèse de Mélaïne Aubry-Kientz. Nous avons déjà construit des modèles des processus de croissance et de mortalité des arbres à l’échelle de la communauté. La prise en compte de la diversité spécifique s’est faite par l’utilisation des traits fonctionnels des espèces. Les variables climatiques influençant le plus ces processus ont été identifiées : disponibilité en eau et ensoleillement. Nous allons prochainement introduire ces variables climatiques dans les modèles de croissance et de mortalité. Puis, nous les introduirons dans le simulateur de dynamique forestière SELVA. Nous pourrons ainsi, par le biais de simulations, explorer l’impact des changements climatiques sur la forêt : sa dynamique et sa composition.

Questions/Réponses

Vivien Rossi : A quelle échéance les premières cartes de vulnérabilités seront disponibles ?

Bruno Hérault : Nous pourrons fournir deux cartes en janvier 2013

Anne-Marie Domenach : Est-ce que la capacité d’adaptation de certain type de sols à atténuer l’impact des changements climatiques sera prise en compte pour définir les cartes de vulnérabilité ?

Bruno Hérault : Ce ne sera pas pris en compte car nous n’avons pas une cartographie suffisamment précise des sols et nous n’avons pas d’informations quantitatives sur la capacité des types de sol à supporter le stress hydrique.

Chris Baraloto : Il faudrait voir auprès de Vincent Freycon (Cirad-B&SEF) et Bruno Ferry (AgroParisTech-Lerfob) s’ils n’ont pas ce type d’information.

Activité 2 – Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales

Marianne Sanlaville, chargée de mission pour l'activité 2

Marianne Sanlaville a présenté un bilan de l'activité 2. Les investigations de terrains concernant cette activité sont terminées. Il reste encore à réaliser quelques analyses. Un rapport de synthèse définitif est en cours de rédaction. Il sera diffusé à la fin du mois d'octobre 2012.

Support de la présentation : <https://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil2-guyasim-activite-2.pdf>

Questions/Réponses

Vivien Rossi : A quel horizon seront fait les scénarios ?

Marianne Sanlaville : Les différentes projections seront faites à 20 ans.

Laurent Descroix : La carte d'occupation des sols utilisée est celle de 2008, est-ce qu'il n'y en a pas une plus récente ?

Marianne Sanlaville : Le service SIG de l'ONF doit nous en fournir une prochainement.

Laurent Descroix : C'est exact, le service SIG a pris un peu de retard, la carte d'occupation des sols de 2011 sera disponible d'ici un à deux mois.

Laurent Descroix : Sur quoi sont basées les projections démographiques de l'INSEE ?

Jean-Michel Salles : Elles intègrent en général un ensemble d'éléments liés à la fécondité et à l'immigration, et prennent évidemment en compte la structure la pyramide des âges. En Guyane, c'est très difficile de faire des prévisions car le taux de fécondité (3.9 enfants par femmes) et le niveau d'immigration sont très élevés

Jean-Christophe Roggy : Il existe une économie informelle très importante sur les frontières de la Guyane. Est-ce que cela est pris en compte dans les projections de croissance économique de l'INSEE ?

Jean-Michel Salle : L'INSEE a l'habitude de prendre en compte l'économie parallèle. Il semble que ce soit fait dans le cas de la Guyane, car l'économie suit la démographie de façon étroite. Pour les scénarios d'évolution, la même hypothèse du parallèle économie démographie est faite. Une question demeure sur le développement agricole qui est, comme ailleurs, dépendant du contexte politique dont on peut se demander s'il n'est pas lié à la capacité du lobby des importateurs à contrôler le marché.

Anne-Marie Domenach : Le développement agricole dépend aussi du choix politique sur la bio-énergie. Si cette voie est choisie 1000 ha de forêt seront brûlés et transformés en terres agricoles chaque année.

Laurent Descroix : 1000 ha de forêt sont déjà déboisés chaque année mais seulement une petite partie est valorisée en terre agricole.

Vincent Blanfort : Il faudrait consulter les filières agricoles, elles ont peut être des plans de développement.

Laurent Descroix : C'est difficile de faire des prévisions car beaucoup d'intentions ne se concrétisent pas. Des critères pratiques de faisabilité sont souvent plus pertinents que les plans d'aménagements.

Thomas Dolley : La carte d'occupation du sol de 2011 sera-t-elle intégrée dans le logiciel ?
Vivien Rossi : Oui, un VSC statisticien-SIG sera recruté pour produire les différentes cartes.

Activité 4 – Réalisation du logiciel de simulation

Thomas Dolley, développeur du logiciel de l'activité 4

Thomas Dolley a présenté l'état d'avancement du développement du logiciel. Il a également réalisé une démonstration du prototype du logiciel.

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/cs2-guyasim-activite-4.pdf>

Questions/Réponses

Jean-Christophe Roggy : Pourquoi l'indicateur sol n'apparaît pas dans les sorties du logiciel ?

Vivien Rossi : Comme pour l'instant nous n'avons pas de données pour cet indicateur, il n'apparaît pas.

Jean-Christophe Roggy : Il faut prévoir de l'intégrer.

Thomas Dolley : Il faut me dire sous quelle forme seront les données pour que je puisse prévoir de les intégrer.

Vincent Blanfort : Lorsque l'on fait un aménagement le bilan du stock de carbone est toujours négatif. Est-ce qu'il change selon le type d'aménagement ?

Vivien Rossi : Il s'agit du bilan du carbone forestier. Lorsqu'un aménagement consiste à transformer de la forêt en autre chose le stock de carbone forestier est perdu.

Vincent Blanfort : Pour que le bilan de la transformation soit complet, il faut quantifier le stock de carbone de nouvel aménagement. Sinon, on ne pourra pas comparer différents type d'aménagement.

Thomas Dolley : Nous sommes d'accord, mais nous avons besoin de données pour les différents aménagements possibles

Vincent Blanfort : Nous pouvons le donner pour la conversion des forêts en pâturage.

Jean-Christophe Roggy : Ce serait bien aussi de l'avoir pour l'agriculture. Les expérimentations du Cetiom peuvent fournir quelques

Vivien Rossi : Nous n'aurons pas des données pour tous les aménagements possibles. Nous laisserons la possibilité aux utilisateurs des créer des profils de sol et d'aménagement avec des caractéristiques associées.

Vincent Blanfort : N'y aurait-il pas alors un risque qu'un utilisateur mal intentionné se serve du logiciel pour cautionner une pratique non évaluée ?

Vivien Rossi : Si des valeurs génériques existent, elles seront données par le logiciel. Mais l'utilisateur pourra la remplacer par des valeurs qu'il aura par exemple obtenues par une étude d'impact. Dans ce cas, il sera précisé par le logiciel que le bilan est calculé à partir de données fournies par l'utilisateur.

Thomas Dolley : Pour que je puisse prévoir **d'intégrer un indicateur dans le logiciel**, il me faut impérativement un **jeu de données test pour décembre 2012**. C'est-à-dire un jeu de données dont le format est définitif mais dont les valeurs ne sont pas définitives. Pour que

l'indicateur soit présent dans la première version du logiciel, il faut que les **données finales** me soient envoyées au plus tard en **avril 2013**.

Enfin, il faudra prévoir une phase de test du logiciel par les membres du projet.

Comité de pilotage n°2-GUYASIM

GUYASIM : Un simulateur, basé sur les dernières avancées scientifiques, pour explorer l'impact des scénarios de développement de la Guyane sur les services des écosystèmes forestiers

Date : jeudi 20 septembre 2012 de 9h à 12h au Conseil Régional de Guyane.

Personnes présentes : C. Baraloto (Inra-Ecofog), V. Blanfort (Cirad-Selmet), I. Bonjour (MFG/CCIG), C. Charron (IRD), G. Cornu (Cirad-B&SEF), N. De Pracontal (Gepog), T. Dolley (Cirad-Ecofog), N. Durupt (Epag), A.-M. Domenach (Solicaz), D. Fournier (DRRT), B. Hérault (UAG-Ecofog), J.-M. Hyasine (Commune de St George), L. Kelle (WWF), J. Le Fol (Région Guyane), F. Miss (ONF), B. Ouliac (Région Guyane-SRI), J.-C. Roggy (Inra-Ecofog), V. Rossi (Cirad-Ecofog), B. Ruelle (Audeg), J.-M. Salles (CNRS-Lameta), M. Sanlaville (Cirad-Ecofog), F. Seyler (IRD), L. Verneyre (Deal), M. Villetard (Deal), M. Wirtensohn (Deal)

Déroulement de la réunion :

Ouverture du Comité de pilotage

Vivien Rossi coordinateur du projet GUYASIM

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil2-guyasim.pdf>

Vivien Rossi a ouvert la réunion en précisant le programme et les attentes pour ce comité. Il a expliqué que plus de temps allait être consacré aux activités 2 et 4 lors de ce comité. L'activité 2 étant quasiment terminée, c'est l'occasion de faire un bilan des résultats obtenus. Pour l'activité 4, l'année prochaine sera déterminante. Il est donc essentiel de s'accorder à présent sur plusieurs points. Avant de passer la parole aux intervenants, il a précisé aux personnes présentes qu'elles peuvent poser des questions pendant et après les exposés.

Présentation de l'activité 1 : Spatialisation à l'échelle de la forêt des services environnementaux

Chris Baraloto, chercheur à l'UMR ECOFOG responsable de l'activité 1

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil2-guyasim-activite-1.pdf>

Questions/Réponses

Mathieu Villetard : Est-ce que pour caractériser la biodiversité l'approche par habitat est figée dans le logiciel ? Sera-t-il possible d'intégrer les résultats que produiront « les trames vertes et bleues » ?

Chris Baraloto : Si nous avons accès à ces données nous sommes très intéressés pour les prendre en compte.

Thomas Dolley : Nous avons déjà agrégé plusieurs cartes concernant l'environnement. Nous pouvons sans difficulté en ajouter d'autres. Vous pouvez directement me contacter pour m'envoyer les données.

Laurent Kelle : Hier, lors de la réunion pour la mise en place du nouveau SAR, nous nous sommes interrogés sur l'évaluation de la biodiversité. Nous avons décidé d'utiliser la carte du SDOM de 2007. Il y a eu des études sur la prévention des risques en particulier pour la mangrove. Pour les intégrer, il faudrait travailler à une échelle différente sur le littoral.

Chris Baraloto : Ce serait effectivement la bonne approche. Pour l'instant nous n'avons pas accès à ces données. Il faudrait que les bureaux d'études et les chercheurs partagent leurs données cela permettrait de faire des analyses plus complètes à l'échelle de la Guyane.

Présentation de l'activité 3 : Scénarios d'impacts des changements climatiques pour les forêts guyanaises

Bruno Hérault, chercheur à l'UMR Ecofog, responsable de l'activité 3

support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil2-guyasim-activite-3.pdf>

Questions/Réponses

Laure Verneyre : Est-ce que vous intégrez les travaux de Météo France ?

Bruno Hérault : Oui nous sommes en contact avec Mr Palany qui s'est occupé de la descente d'échelle pour les Antilles du modèle climatique global. Il envisage de la faire pour la Guyane mais pas dans l'immédiat car ils doivent pour cela recruter un ingénieur 18 mois.

Fanny Miss : Est-ce que vous allez faire un focus des scénarios climatiques du GIEC pour la Guyane ou une carte des zones de vulnérabilité ?

Bruno Hérault : Nous allons faire des cartes de vulnérabilité en croisant les cartes des prévisions des évolutions des précipitations avec la carte d'évapotranspiration.

Fanny Miss : Est-ce que vous avez des cartes précises à l'échelle de la Guyane pour l'évolution des précipitations ?

Bruno Hérault : Pour l'instant nous avons des données macro issue du modèle climatique global. Lorsque Météo France aura fait la descente d'échelle ce sera plus précis.

Laure Verneyre : Sera-t-il possible de coupler les prédictions de précipitation avec des modèles hydrologiques ?

Bruno Hérault : Ce n'est pas prévu car nous n'avons pas de compétence en hydrologie. Mais nous sommes tout à fait partants pour collaborer sur ce point.

Laure Verneyre : A la Deal nous avons des données sur les débits des fleuves qui pourraient permettre ce couplage.

Bruno Hérault : C'est très intéressant, il reste donc seulement à déterminer la surface des bassins versants pour être en mesure de réaliser le couplage.

Présentation de l'activité 2 : Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales

Marianne Sanlaville, chargée de mission pour l'activité 2 de GuyaSim

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil2-guyasim-activite-2.pdf>

Questions/Réponses

Boris Ruelle : Lorsque vous définissez les scénarios d'extension des zones urbaines, est-ce que vous prenez en compte les éléments de sécurité et les plans d'exposition au risque ?

Marianne Sanlaville : Les zones d'aménagement urbain ont été définies à partir des PLU des communes. Ces éléments doivent normalement avoir été pris en compte en amont.

Boris Ruelle : Il arrive souvent que les communes ne prennent pas en compte les conditions d'urbanisation fixée dans la réglementation. Ce serait donc bien que ce soit intégré dans votre modèle.

Jean-Michel Salles : Nous n'avons pas une force de travail suffisante pour réaliser en quelques semaines des croisements d'informations qui n'ont pas pu être faits par les services d'aménagements communaux.

Boris Ruelle : Certains éléments sont connus pour favoriser les aménagements spontanés, par exemple la présence de route ou de piste, est-ce qu'ils sont pris en compte dans le modèle ?

Marianne Sanlaville : Il n'existe pas d'étude ou de rapport sur les développements spontanés en Guyane. Le modèle se base dans chaque zone sur ce qui a été observé jusqu'à présent.

Pour l'agriculture, il n'y a pas de politique d'aménagement, les plans servent à officialiser ce qui existe.

Fanny Miss : Est-ce que la qualité des sols sera fournie par le logiciel ?

Jean-Christophe Roggy : L'indicateur de qualité du sol est en cours de développement. Nous ne disposerons pas d'assez de données d'ici la fin du projet pour qu'il soit renseigné sur toute la Guyane. Mais il est prévu de l'intégrer dans le logiciel lorsque l'information sera disponible.

Nyls De Pracontal : En ce moment le nouveau SAR est en train d'être construit. S'il est en décalage avec les scénarios de prédictions est-ce que l'on ne perd pas quelque chose ?

Vivien Rossi : La forte croissance démographique de la Guyane rend les prédictions globalement difficiles. Comme son prédécesseur, le nouveau SAR sera certainement mis en révision dans 1 ou 2 ans après sa mise en application. L'objectif des scénarios est de donner une vision possible de la Guyane dans 20 ans en particulier pour la surface de la forêt.

Par ailleurs, il sera tout à fait possible pour un utilisateur de rentrer le SAR dans le logiciel pour évaluer son impact.

Présentation de l'activité 4 : Réalisation du logiciel de simulation

Thomas Dolley, développeur du logiciel de l'activité 4

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil2-guyasim-activite-2.pdf>

Questions/Réponses

Mathieu Villetard : Est-ce que l'on pourra modifier les scénarios socio-économiques ?

Guillaume Cornu : Il faut voir les scénarios socio-économiques comme le pendant des scénarios du GIEC. Ils serviront surtout à faire des bilans à l'échelle de la Guyane. Ils n'auront pas d'incidence sur des plans d'aménagements locaux.

Mathieu Villetard : N'y a-t-il pas un risque que l'outil soit contre-productif si les consignes données pour la biodiversité sont génériques ?

Thomas Dolley : La biodiversité est encore globalement mal connue à l'échelle de la Guyane. L'outil ne dispensera pas d'une étude d'impact sur le terrain.

Mathieu Villetard : Il faut alors que les limites des informations données apparaissent clairement. Il faut être prudent car les travaux qui émanent de la recherche ont beaucoup de crédit.

Benjamin Ouliac : Comment pourriez-vous dire que le sol est bon pour l'agriculture ? Et pour quel type ?

Guillaume Cornu : Ce sera fait sous forme d'avertissement quantitatif

Jean-Christophe Roggy : Les indicateurs quantitatifs de fonctionnement du sol ne sont pas encore disponibles.

Nyls De Pracontal : Il faut être prudent sur la définition des « Hot spots » et sur les avertissements donnés aux utilisateurs. Par exemple les savanes sont un réservoir très important de biodiversité et elles ne sont pas intégrées dans le logiciel.

Chris Baraloto : Tout à fait d'accord, nous pouvons réfléchir avec vous à comment les intégrer.

Nyls De Pracontal : Le Cepog a des données sur la savane c'est un habitat extrêmement riche en espèces d'oiseaux. Ces données sont disponibles.

Chris Baraloto : C'est d'accord on va vous contacter pour travailler ensemble.

Fanny Miss : Est-ce que vous avez prévu de croiser les prévisions climatique et l'urbanisation ?

Bruno Hérault : Non car nous n'aurons pas de modèle climatique local et nous ne savons pas comment quantifier les effets rétroactifs.

Fanny Miss : Est-ce qu'une zone où la forêt devient fragmentée suite à des aménagements devient un hot spot ?

Bruno Hérault : Ce n'est pas prévu mais ce serait effectivement pertinent de l'intégrer. Pour cela il faudrait définir des indicateurs de connectivité pour la forêt.

Laure Verneyre : Est-ce que l'on peut faire des cumuls d'impacts et découper des parcelles ?

Thomas Dolley : Il n'est pas prévu de pouvoir agréger des scénarios d'aménagement. Mais il est possible de comparer les sorties de plusieurs scénarios.

Laure Verneyre : Est-ce qu'il sera possible de découper des zones à la main ?

Thomas Dolley : Oui c'est possible

Boris Ruelle : Quel est le protocole de validation des travaux ? Sous quelle forme le logiciel sera mis à disposition ? Quelles sont les modalités de communication ?

Thomas Dolley : Une documentation de l'outil sera fournie et une formation sera dispensée aux futurs utilisateurs

Vivien Rossi : le logiciel sera à installer sur chaque poste. Il sera distribué sur un CD ou sur une clé USB. Les résultats scientifiques servant de base au logiciel sont diffusés validés lors des processus de relecture avant leur publication dans des revues scientifiques.

Fanny Miss : Comment sera assuré le SAV du logiciel une fois que le projet sera terminé ?

Vivien Rossi : Nous travaillons actuellement en partenariat avec la Région Guyane pour construire un observatoire du carbone. Nous prévoyons de transférer le logiciel à cet observatoire.

Bruno Hérault : Les mises à jour des données pourront se faire de façon simple. Si les utilisateurs du logiciel demande de nouvelles fonctionnalités ou d'ajouter d'autre information, nous réfléchirons avec eux au montage d'un nouveau projet pour le faire.

Fanny Miss : Est-ce que vous avez des données pour la zone de Maripasoula ?

Thomas Dolley : Nous avons des données pour Maripasoula mais moins précises que pour la bande littorale..

Fanny Miss : Je ne suis pas sûre qu'il y ait un PLU à Maripasoula.

Boris Ruelle : Pourquoi ne vous êtes vous pas basé sur le SAR 2002 pour les scénarios socio-économiques ?

Marianne Sanlaville : Les PLU sont beaucoup plus précis

Boris Ruelle : Il est possible de récupérer le référentiel IGN sur leur site web pour compléter la carte d'occupation du sol de l'ONF.

Thomas Dolley : Nous ne pouvons vraisemblablement pas intégrer dans le logiciel car cela reviendrait à diffuser les données des l'IGN.

Boris Ruelle : Effectivement la redistribution n'est a priori pas possible. L'IGN est très stricte sur la redistribution des données.

Vincent Blanfort : Les informations fournies par le logiciel sur basées sur les certitudes existantes dans le temps impartis au projet. Les nouvelles données ou connaissances disponible après le projet sont autant de perspectives de faire évoluer le logiciel.

Thomas Dolley précise que les retours sur le cahier des charges sont à faire rapidement. Le cahier des charges sera considéré comme définitif à la mi-octobre.

Rappel le cahier des charges est disponible <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/cahierdescharges.pdf>

Vivien Rossi demande à l'assistance si les personnes souhaitent encore poser de nouvelles questions. En l'absence de nouvelles questions le comité de pilotage est clos.

Comité scientifique n°3-GUYASIM

GUYASIM : Un simulateur, basé sur les dernières avancées scientifiques, pour explorer l'impact des scénarios de développement de la Guyane sur les services des écosystèmes forestiers

Date : Lundi 12 mai 2014 de 14h30 à 17h30 au Campus Agronomique de Kourou

Personnes présentes : O. Brunaux (ONF), C. Baraloto (Inra-Ecofog), C. Charon (IRD), G. Cornu (Cirad-Bsef), T. Dolley (Cirad-DSI), C. Dezecache (Univ. Guyane-Ecofog), A. Dourdain (Cirad-Ecofog), B. Hérault (Cirad-Ecofog), J.-C. Roggy (Inra-Ecofog), V. Rossi (Cirad-Bsef), H. Schimann (Inra-Ecofog).

Déroulement de la réunion : Vivien Rossi a ouvert la réunion en précisant le programme et les attentes pour ce comité. Les résultats de chaque activité ont ensuite été présentés par leurs responsables. La formulation des résultats pour le prochain CoPil a été discutée ainsi que les perspectives pour l'après GuyaSim. Les chiffres présentés dans le bilan général ont été vérifiés à la fin de la réunion.

Ouverture du Comité scientifique

Vivien Rossi, coordinateur du projet GUYASIM

Chaque responsable d'activité, ou son représentant, va présenter le bilan de ses travaux et nous discuterons des messages transmis lors du prochain comité de pilotage. A la fin de la réunion, nous vérifierons que les chiffres des diapositives de présentation du bilan général, pour le prochain CoPil sont exacts.

Activité 1 – Spatialisation à l'échelle de la forêt des services environnementaux

Stock de carbone forestier aérien

Vivien Rossi, coordinateur du projet GUYASIM

Dans le cadre de sa thèse, Quentin Molto, a réalisé une première carte du stock de carbone forestier aérien à l'échelle de la Guyane avec une incertitude associée à chaque hectare. Il y avait une incohérence dans le logiciel pour le calcul de la biomasse sur des grandes surfaces car l'incertitude baissait trop fortement. Ce problème résultait d'une hypothèse d'indépendance spatiale non réaliste. J'ai modifié le calcul de l'écart-type en supposant cette fois qu'il y avait de la dépendance spatiale entre tous les pixels. Cela permet d'obtenir un majorant fiable de l'écart-type et de l'intervalle de confiance.

Pour la suite, Quentin Molto travaille avec Stéphane Guitet pour mettre à jour cette carte en intégrant les données des parcelles du sud de la Guyane issues du projet habitat.

Questions/Réponses

Chris Baraloto : Où en est la progression de la mise à jour ?

Vivien Rossi : Ils sont tous les deux basés à Montpellier et interagissent régulièrement, ils devraient assez rapidement.

Chris Baraloto : On m'a demandé, si la nouvelle carte était disponible. Est-ce que en juin cela serait possible ?

Olivier Brunaux : J'ai vu Stéphane Guitet récemment, il m'a confirmé qu'ils avaient bien avancé. Mais comme ils font cela à la marge de leurs activités principales, il vaut mieux tabler sur 2-3 mois.

Chris Baraloto : Est-ce que la carte dans le logiciel GuyaSim intègre les modifications méthodologiques dont Vivien Rossi a parlé ?

Thomas Dolley : Oui, les modifications du calcul des écart-types et des intervalles de confiance ont été intégrées dans la dernière version du logiciel.

Chris Baraloto : Nous sommes toujours en discussion avec l'Amap pour intégrer leurs données de biomasse du sud de la Guyane.

Vivien Rossi : Sont-ils d'accord pour nous les transmettre ?

Chris Baraloto : Non, mais comme nous leur avons proposé de leur transmettre nos données de biodiversité et de les laisser leader sur l'étude cela pourrait changer. Cependant, ils ont aussi des projets d'estimer la biomasse par télédétection ce qui complique les choses.

Olivier Brunaux : Un chercheur de l'Amap m'a dit qu'ils voulaient valoriser leurs données avant de nous les transmettre.

Vivien Rossi : Est-il envisageable qu'on ait leurs données avant la prochaine mise à jour de la carte ?

Chris Baraloto : C'est peu probable, mais ce serait bien de pouvoir les intégrer si un jour on y a accès.

Vivien Rossi : Pour GuyaSim cela ne pose aucune difficulté. La seule contrainte est qu'il faudra relancer tous les algorithmes de la thèse de Quentin Molto. Cette manipulation étant plus ou moins automatisée, nous n'avons pas encore une idée claire du temps de travail nécessaire. Mais ce point sera clarifié lors de la prochaine mise à jour.

Biodiversité

Chris Baraloto, responsable de l'activité 1

Nous avons surtout avancé sur la forme des données permettant d'avoir une information utilisable dans le logiciel GuyaSim. La stratification obtenue dans le projet Habitat de l'ONF est actuellement la meilleure façon d'appréhender la biodiversité en Guyane. Elle caractérise bien le milieu et les espèces qui y vivent. Pour aller plus loin, nous envisageons de faire des modèles de répartition des espèces déterminantes. En particulier, nous travaillons sur les amphibiens en partenariat avec Biotope. Nous envisageons ensuite de reproduire la méthodologie à d'autres groupes taxonomiques, notamment la grande faune. Mais cela posera des difficultés méthodologiques car la pression anthropique est un facteur déterminant.

Il y a aussi des grosses difficultés pour fédérer les données car elles sont gérées par différents organismes.

Questions/Réponses

Vivien Rossi : Lors du dernier CS, nous envisagions de croiser les cartes de répartition des espèces déterminantes pour localiser des « hot-spots » ayant une forte présence de plusieurs espèces déterminantes. Est-ce que c'est toujours envisageable ?

Chris Baraloto : Oui, mais à long terme car aujourd'hui il est très difficile d'accéder aux données. On n'a donc pas encore une idée claire des problèmes méthodologiques que l'on pourrait rencontrer pour modéliser les données des différentes espèces.

Aurélie Dourdain : Pour les données dont on dispose, il y a des problèmes de localisation des sites d'observation. Il faudrait d'abord faire un travail de nettoyage de la base avant de pouvoir modéliser rigoureusement la répartition des espèces.

Vivien Rossi : Est-ce que l'on pourra récupérer de l'information intéressante ?

Aurélie Dourdain : Je pense que oui, mais il faudrait le faire en partenariat avec le gestionnaire des données.

Olivier Brunaux : Stéphane Guitet a des informations sur la répartition des arbres dans le projet d'habitat. Mais nous ne pouvons pas tout vous transmettre toutes les données car l'Amap est copropriétaire et veut les valoriser avant.

Chris Baraloto : La situation pourrait évoluer dans un avenir proche car la région et la DEAL veulent constituer une grande base de données de la biodiversité guyanaise. Ces initiatives de fédération de données pourraient nous être utiles si une standardisation des données est réalisée.

Chris Baraloto : Cependant, il risque d'y avoir un décalage entre les connaissances sur la biodiversité et les intérêts de Guyasim. Souvent les zones inventoriées où l'on a une connaissance précise sont très éloignées des zones concernées par l'aménagement du territoire.

Indicateurs de fonctionnement du sol

Jean-Christophe Roggy, référant « sol » pour l'activité 1

Nous avons eu une approche biologique pour évaluer la qualité de sol. Il est ressorti que les capacités biotiques ne sont pas liées au type de sol (sablo-argileu, argilo-sableu, argilru. Deux systèmes compensatoires expliqueraient ce résultat. Des mesures physico-chimiques permettraient d'avancer sur cette question est d'aller vers une cartographie des sols. Dans un premier temps on pourrait aussi passer par la stratification Habitat.

Questions/Réponses

Olivier Brunaux : Il n'y a pas de données physico-chimiques sur le site de Guyafor ?

Bruno Héroult : Si, nous avons reçu les résultats récemment, ils vont pouvoir travailler dessus.

Jean-Christophe Roggy : C'est bien, mais il va manquer certaines informations comme le carbone soluble dans le sol.

Chris Baraloto : Des études physico-chimiques des sols ont été réalisées dans les projets GuyaFor et Habitat, est-ce que les résultats sont cohérents ?

Olivier Brunaux : A première vue oui, mais cela doit être confirmé par un pédologue de l'IRD.

Jean-Christophe Roggy : En intégrant cette information, on trouve un gradient est-ouest de qualité des sols, avec les meilleurs sols à l'est.

Vivien Rossi : Est-ce qu'un sol de bonne qualité est propice à l'agriculture ?

Jean-Christophe Roggy : C'est un peu plus complexe. Solicaz travaille actuellement sur cette question avec la DAF. Il faut croiser plusieurs indicateurs pour déterminer à quel type agricole le sol est propice. Par exemple, un sol de bonne qualité, i.e. qui fonctionne bien biologiquement, mais peu profond ne sera pas propice pour faire des vergers.

Chris Baraloto : Sur combien de parcelles avez-vous fait de analyses ?

Jean-Christophe Roggy : Sur 11 parcelles de forêts naturelles, 4 forêts exploitées, 9 déforestées pour agriculture. Mais, c'est difficile de généraliser car les indicateurs sont très sensibles aux pratiques utilisées, il faudrait connaître les historiques.

Chris Baraloto : Est-ce que ce serait possible et intéressant de faire une carte de carbone du sol ?

Jean-Christophe Roggy : Il faudrait connaître le carbone total et le carbone disponible, ce sont des données que l'on n'a pas pour l'instant.

Vivien Rossi : Dans une démarche REDD+, si l'on reste sur de la forêt cela n'apporterait pas grand-chose, on peut tout à fait utiliser le facteur d'expansion de Giec. Pour la transformation forêt vers agriculture cela pourrait être intéressant pour valoriser les bonnes pratiques.

Activité 2 – Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales

Aurélie Dourdain, chargée de mission pour l'activité 2

Nous avons mis à jour l'étude de Marianne Sanlaville en intégrant la carte d'occupation des sols de l'ONF 2011 et les données démographiques de l'INSEE 2010. Nous avons également corrigé certaines aberrations. Certains aménagements étaient modélisés dans des zones où c'est physiquement impossible. Il est possible que certaines anomalies persistent encore.

Bruno Héroult : le travail réalisé dans l'activité 2 a une limitation méthodologique. Les prédictions sont réalisées de façon descriptive. La dynamique observée dans le passé est reproduite pour faire des prédictions en tenant compte de la localisation des villes et des routes. Les interactions de certains effets peuvent accélérer ou ralentir une dynamique territoriale. La modélisation actuelle n'intègre pas ces aspects. Nous sommes partis des méthodes de l'activité de 2 GuyaSim pour construire le sujet de thèse de Camille Dezecache. Son travail vise à modéliser les dynamiques territoriales à l'échelle du plateau des Guyanes avec des modèles mécanistes quantitatifs.

Camille Dezecache a présenté l'état d'avancement de ses travaux. La présentation est disponible à l'adresse : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/cs3-guyasim-Dezecache.pdf>

Questions/Réponses

Jean-Christophe Roggy : D'où vient le modèle ?

Camille Dezecache : C'est un modèle assez classique, l'originalité réside dans l'introduction d'interactions spatio-temporelles.

Bruno Héroult : Tout à fait les gros modèles utilisés actuellement, dont celui du Brésil, n'intègrent pas d'autocorrélations spatio-temporelles

Jean-Christophe Roggy : Est-ce que tu as la même type de données pour tous les pays ?

Camille Dezecache : C'est effectivement un point sensible. C'est pour cela que nous travaillons pour l'instant avec des cartes Landstat qui couvrent toute la zone.

Activité 3 – Scénarios d'impacts des changements climatiques pour les forêts guyanaise

Bruno Héroult, responsable de l'activité 3- 1h36

Bruno Héroult a exposé le bilan de la construction des scénarios de changements climatiques et de l'évaluation de leurs impacts sur la forêt guyanaise. Il s'est appuyé sur une présentation disponible à l'adresse : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/cs3-guyasim-activite-3.pdf>

Synthèse de la présentation :

Nous avons réalisé un changement d'échelle dans la modélisation de la dynamique forestière. Nous sommes passés de l'échelle de l'espèce à l'échelle de la communauté en conservant un nombre de paramètre raisonnable dans le modèle.

Nous avons développé un modèle de bilan hydrique permettant d'estimer la réserve en eau disponible pour les végétaux dans le sol. Ce modèle nous a permis d'étudier les déterminants climatiques de la dynamique forestière. Nous avons pu ensuite coupler des modèles de dynamique forestière avec des variables climatique pertinentes.

Nous avons produit des cartes de vulnérabilité climatique en utilisant les prédictions du modèle global pour déterminer les zones de Guyane concernées par la baisse de pluviométrie. Afin de déterminer les zones vulnérables nous avons croisé les cartes de précipitations prédites et les cartes d'évapotranspiration de la Guyane. Lorsque l'évapotranspiration est supérieure aux précipitations les forêts tropicales sont menacées. La spatialisation de la vulnérabilité a été réalisée par une méthode simple mais robuste.

Questions/Réponses

Jean-Christophe Roggy : Quelles cartes de vulnérabilité sont disponibles dans GuyaSim ?

Bruno Hérault : Il y a les cartes de prédictions en 2070 de la température, des précipitations et de l'évapotranspiration selon le scénario RCP4.5, scénario « business as usual » jusqu'en 2070 puis ralentissement des émissions résultant d'une prise de conscience suites

Vivien Rossi : Quelles suites sont envisagées à ces travaux ?

Bruno Hérault : Nous avons seulement étudié l'effet du climat sur les forêts naturelles. La superficie mondiale des forêts perturbées par diverses activités de ne cesse d'augmenter. Il nous semble donc important d'étudier à présent l'impact des changements climatiques sur les forêts perturbées.

Activité 4 – Réalisation du logiciel de simulation

Thomas Dolley, développeur du logiciel de l'activité 4

Thomas Dolley a fait une démonstration de l'installation et de l'utilisation du logiciel. La vidéo de cette démonstration est disponible à l'adresse : <http://youtu.be/miLBNBZXPak>

Questions/Réponses

Christophe Charon : Est-ce que l'on met de nouvelles cartes ?

Thomas Dolley : C'est possible, il faut respecter certaines caractéristiques de l'image et on indique la localisation de l'image dans le fichier de configuration.

Olivier Brunaux : Peut-on ajouter d'autre type d'exploitation ?

Thomas Dolley : Tout à fait, il suffit de fournir un fichier Excel renseignant les taux de reconstitution de la biomasse de ce type d'exploitation et d'indiquer la localisation de ce fichier dans le fichier de configuration.

Christophe Charon : Le logiciel n'est pas sur le web, comme allez-vous procéder pour les mises à jours ?

Thomas Dolley : Tout à fait c'est un logiciel poste de travail, il n'est pas disponible en téléchargement car trop volumineux.

Guillaume Cornu : Le programme est volume car il intègre un logiciel SIG.

Vivien Rossi : La plupart des futurs utilisateurs sont nos partenaires, nous les contacterons directement pour faire les mises à jours.

Jean-Christophe Roggy : Est-ce que le logiciel est en libre accès ?

Vivien Rossi : Il a été réalisé avec des financements publics, nous n'envisageons pas d'en restreindre l'accès.

Thomas Dolley : Nous allons réfléchir à l'opportunité de définir une licence d'utilisation.

Comité de pilotage n°3-GUYASIM

GUYASIM : Un simulateur, basé sur les dernières avancées scientifiques, pour explorer l'impact des scénarios de développement de la Guyane sur les services des écosystèmes forestiers

Date : mardi 13 mai 2014 de 9h à 12h30 au Conseil Régional de Guyane.

Personnes présentes : M. Aubry-Kientz (UAG-Ecofog), C. Baraloto (Inra-Ecofog), D. Bazil (Conseil général-SAEER), I. Bonjour (MFG/CCIG), O. Brunaux (ONF), C. Charron (IRD), G. Cornu (Cirad-B&SEF), P. Courtiade (Ademe), C. Dezecache (UAG-Ecofog), R. Dhommé (Ademe-Réseau Rural), A. Dourdain (Cirad-Ecofog), T. Dolley (Cirad-DSI), N. Durupt (Epag), A.-M. Domenach (Solicaz), R. Eve (Région Guyane-SIG), H. Fargeon (UAG-Ecofog), Y. Goulamoussène (UAG-IRD), B. Hérault (Cirad-Ecofog), S. Mondésir (Conseil général-SAEER), S. Pons (Ademe), B. Ouliac (OREDD), V. Rossi (Cirad-B&SEF), B. Ruelle (Audeg), H. Sirder (Région Guyane-2^{ème} vice-présidente), F. Taberlet (WWF), L. Verneyre (Deal), M. Villetard (Deal), M. Wirtensohn (Deal)

Déroulement de la réunion :

Ouverture du Comité de pilotage

Vivien Rossi coordinateur du projet GUYASIM

Mot d'accueil

*Hélène Sirder, 2^{ème} vice-présidente du Conseil Régional,
Déléguée à l'Environnement et développement durable*

Madame Sider a souligné l'intérêt de la région et des collectivités régionales pour l'outil d'aide à la décision développé dans le projet Guyasim. Cet outil contribuera à un développement et un aménagement adapté au contexte amazonien de la Guyane en permettant de mieux appréhender les questions environnementales. Son caractère innovant favorisera le rayonnement de la Guyane en offrant la possibilité de développer des coopérations transfrontalières.

Présentation des objectifs du comité

Vivien Rossi coordinateur du projet GUYASIM

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil3-guyasim.pdf>

Vivien Rossi a ouvert la réunion en rappelant les objectifs du projet GuyaSim et en précisant le programme et les attentes pour ce comité. Avant de passer la parole aux intervenants, il a présenté un bilan général qualitatif et quantitatif du projet.

Questions/Réponses

Pierre Courtiade : Lors du précédent comité nous avons évoqué l'intérêt de connaître le carbone dans le sol en particulier pour les changements d'occupation. Est-ce que cela a pu être intégré dans le logiciel ?

Vivien Rossi : L'estimation du carbone du sol ne faisait pas parti du périmètre initial du projet. Mais nous avons commencé à intégrer les informations produites dans le projet Carpagg pour la conversion forêt pâturage. Nous avons répertorié les informations manquantes et nous pourrions les intégrer dans le logiciel le jour où elles seront disponibles. Pour l'instant le logiciel fonctionne avec les valeurs du Giec.

Présentation de l'activité 1 : Spatialisation à l'échelle de la forêt des services environnementaux

Chris Baraloto, chercheur à l'UMR ECOFOG responsable de l'activité 1

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil3-guyasim-activite-1.pdf>

Questions/Réponses

Benjamin Ouliac : La carte de la biomasse a été obtenue à partir des données issues de parcelles d'inventaires installées dans une autre optique. Certains pays tropicaux, Brésil ou Suriname, mettent actuellement en place des inventaires forestiers nationaux pour estimer la biomasse. Quels sont les avantages et inconvénients entre ces deux stratégies d'échantillonnage, en particulier par rapport aux incertitudes ?

Bruno Hérault : Comme nous avons intégré quasiment toutes les sources d'information depuis les années 70, nous avons un niveau d'incertitude acceptable sur la bande littorale. En collaboration avec l'ONF, nous sommes actuellement en train de mettre à jour la carte en intégrant des données dans le sud qu'ils ont obtenu avec le projet Habitat.

Vivien Rossi : Statistiquement un inventaire forestier national avec un échantillonnage systématique offre l'avantage d'avoir une incertitude des estimations homogène sur tout le territoire. Dans notre cas, l'incertitude est plus faible dans les zones proches des sites d'inventaires. Mettre en place un inventaire systématique en forêt tropicale a un coût très important que peu de pays peuvent se permettre.

Chris Baraloto : L'échantillonnage systématique selon un maillage uniforme n'est pas forcément la meilleure solution. Il est préférable de stratifier s'il existe une stratification adaptée comme celle de l'ONF. Celle permet d'adapter l'effort d'échantillonnage à la variabilité de la strate. D'ailleurs, les services forestiers du Brésil et du Surinam sont actuellement confrontés à des difficultés opérationnelles et ils envisagent de faire évoluer leur méthodologie d'échantillonnage vers une approche mixte stratification-maillage. En Guyane nous n'avons pas eu le choix par manque de moyens.

Bruno Hérault : Les incertitudes d'estimation de la biomasse proviennent de plusieurs sources, mais la plus importante vient de l'allométrie qui relie le diamètre d'un arbre à

sa biomasse. Pour donner une idée, d'après le modèle d'allométrie un arbre de 90cm de diamètre a une biomasse comprise entre 10 et 90 tonnes. Il y a donc un travail à faire à ce niveau avant d'espérer réduire significativement les incertitudes sur les estimations de biomasse.

Pierre Courtiade : La répartition de la grande faune est très impactée par la pression anthropique mais pas forcément la petite faune. Comme cela est géré ?

Bruno Hérault : Pour le cas du Hoco montré dans la présentation, on a intégré la pression anthropique dans l'analyse en se basant sur le réseau hydrographique selon les préconisations de l'ONCFS. Nous avons constaté que la présence du Hoco peut s'expliquer par des caractéristiques environnementales sauf pour les zones parcourues par la chasse où sa présence diminue considérablement.

Pierre Courtiade : Dans la perspective d'installer des centrales électriques biomasses lors de la conversion de parcelles forestières en zone agricole, il serait utile d'estimer le volume de biomasse sur ces parcelles, la carte de biomasse peut-elle être utile pour avoir une première estimation ? Quid des pentes et des creux qui interviennent dans le choix de passer de la forêt en zone agricole ?

Vivien Rossi : Oui, le logiciel GUYASIM permet d'estimer la biomasse d'une parcelle. Concernant les pentes, la biomasse fournie par le logiciel GUYASIM est la biomasse pour les surfaces projetées.

Thomas Dolley : Dans le logiciel, il y a l'information d'exploitabilité au sens de l'ONF. Cette information renseigne si la zone est inondable et si elle est fortement pentue. Elle pourrait donc être utile pour caractériser les zones forestières que l'on pourrait passer en zones agricoles.

Pierre Courtiade : Est-ce que ces données sont publiques et exploitables par les industriels qui prospectent actuellement ?

Vivien Rossi : Ces données ont été obtenues avec des financements publics, il n'y a pas de raison d'en restreindre l'accès. Nous souhaitons que les personnes les utilisant mentionnent le projet GUYASIM en précisant qu'il a été financé par l'Europe et la région Guyane.

Anne-Marie Domenach : Je voudrais apporter une précision sur ce qui a été fait sur le sol. Si les indicateurs biologiques montrent un gradient Ouest-Est de la qualité des sols, en fait les résultats sont un peu plus complexes. En particulier, la respiration reste la même d'Ouest en Est alors que l'on subodore un gradient de matière organique sur cet axe. La respiration représente la perte potentielle du carbone de ces sols. Proportionnellement, les forêts de l'Ouest brûleraient donc plus de carbone que celles de l'Est qui elles le stockeraient. Par contre, les indicateurs montrent une plus grande diversification microbienne. Un sol avec une plus grande diversité bactérienne sera plus stable et supportera donc mieux les transformations. Des mesures chimiques du sol sont nécessaires pour conforter ces conclusions. Ces indicateurs ne sont pas suffisants pour

établir une cartographie de la qualité du sol car les contraintes de ces sols sont avant tout physiques (profondeur, pente, hydromorphie, texture) qu'il est indispensable de prendre en compte dans une cartographie. La connaissance du stock de matière organique est également importante mais pas suffisante car elle peut ne pas être disponible pour les microorganismes (exemple des tourbières) et les indicateurs biologiques renseignent sur cette disponibilité, donc sur la capacité du sol à fournir les éléments nutritifs au sol. Il n'est encore pas possible d'extrapoler ces indicateurs de qualité du sol sans l'ensemble de ces mesures pour tout le territoire.

Présentation de l'activité 3 : Scénarios d'impacts des changements climatiques pour les forêts guyanaises

Bruno Hérault, chercheur à l'UMR Ecofog, responsable de l'activité 3

support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil3-guyasim-activite-3.pdf>

Questions/Réponses

Anne-Marie Domenach : Est-ce que le sol est pris en compte dans ces études climatiques ?

Bruno Hérault : Oui, les modèles de bilan hydriques intègrent les données de sol du Paracou. Comme Paracou n'est pas représentatif de la Guyane, nous avons installé des dispositifs sol-météo sur quatre autres sites couvrant le gradient est-ouest : la réserve des Nouragues, Saut Lavillette, la réserve de la Trinité et Bafog. Sur ces sites nous avons installés dans sondes pour mesurer l'eau disponible dans le sol tous les 10cm de profondeur et selon un gradient topographique plateau, pente et bas-fond.

Suzanne Pons : Il n'y a pas de site d'étude aux sources des grands fleuves guyanais ? Ces pour des questions d'étiage au cas où l'on souhaite mettre des stations de production d'électricité au fil de l'eau.

Bruno Hérault : Non, en effet, le périmètre du projet est la disponibilité en eau des arbres. L'UAG et l'UMR Espace-Dev de l'IRD travaillent plus spécifiquement sur cette question du niveau des fleuves.

Christophe Charron : Tout à fait, l'équipe de Philippe Seller mène actuellement ces travaux en utilisant des données satellites.

Benjamin Ouliac : Est-ce qu'il sera possible par la suite de modifier les paramètres en fonction des scénarios choisis ? Comme la 6ème version du rapport du Giec doit bientôt sortir.

Bruno Hérault : oui, mais il y a toujours un délai entre la sortie des rapports et les prédictions car plusieurs équipes de chercheurs doivent faire des descentes d'échelle des modèles globaux. Par exemple pour la Guyane, la descente d'échelle a seulement été réalisée pour le scénario moyen.

Benjamin Ouliac : L'idée serait d'utiliser le scénario le plus probable.

Bruno Héroult : Depuis 20 ans, le scénario qui s'est réalisé n'était pas le scénario moyen, mais le pire.

Benjamin Ouliac : Sera-t-il possible d'évaluer les impacts de deuxième rideau, comme les conséquences locales à attendre sur le climat et l'agriculture s'il y a savanisation de l'ouest de la Guyane.

Bruno Héroult : Actuellement, c'est difficile, le niveau de réalimentation en eau de la forêt par la forêt est encore discuté. Selon les hypothèses, les résultats sont très différents.

Vivien Rossi : Certaines forêts tropicales subsistent dans des zones où la pluviométrie est insuffisante. Mais elles sont très sensibles aux perturbations.

Bruno Héroult : Pour que la forêt fonctionne bien, il faut qu'elle évapore 110-120 mm/mois. Elle peut se maintenir sans stress en évaporant seulement 60-70 mm/mois pendant quelques mois. Mais on ne sait pas si la forêt Guyanaise le supportera.

Pierre Courtiade : Dans le cadre de la mise en place des trames vertes et bleues, il est envisagé de maintenir des espaces forestiers parsemés au sein des zones agricoles. Est-ce que l'eau transpirée par ces forêts parsemées ne va bénéficier aussi aux zones agricoles environnantes et ainsi assécher la forêt ?

Bruno Héroult : Je ne sais pas. Lorsque des zones de forêts sont transformées en zones agricoles, leurs albédos augmentent, ce qui a pour effet de réduire l'évapotranspiration.

Présentation de l'activité 2 : Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales

Aurélien Dourdain, chargée de mission pour l'activité 2 de GuyaSim

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil3-guyasim-activite-2.pdf>

Questions/Réponses

Olivier Brunaux : Avez-vous intégré les études de PAG sur Maripasoula et Camopi faites en 2012 ?

Aurélien Dourdain : Nous nous sommes restreint à la bande littorale.

Vivien Rossi : Au départ nous souhaitons intégrer toutes les communes de la Guyane, mais les informations n'étaient pas encore disponibles au moment où nous avons fait l'étude.

Olivier Brunaux : C'est pareil pour les informations du nouveau SAR ?

Aurélien Dourdain : Oui, mais nous pourrions reproduire l'analyse et l'intégrer lorsqu'il sera publié.

Pierre Courtiade : Quel est le poids de l'habitat isolé dans les scénarios de développement car cela a des conséquences importantes sur le bilan carbone ?

Vivien Rossi : La densification de l'habitat des villes a été intégrée dans les scénarios d'aménagement.

Laure Verneyre : Est-ce que vous avez intégré les projections faites par chacune commune dans leur document d'urbanisme

Thomas Dolley : Non, car nous voulions avoir une approche homogène pour tout le territoire et que ces documents n'étaient disponibles que pour 2 ou 3 communes.

Pierre Courtiade : Vous avez supposé que les nouveaux habitants étaient logés dans les zones aménagées à cet effet ?

Aurélié Dourdain : Tout à fait, et lorsque l'accroissement démographique était supérieur à la capacité des zones d'habitation nous avons considéré que l'accroissement démographique généré des zones D4extension urbaine spontanée.

Christophe Charron : Comment avez-vous construit la dynamique territoriale ?

Aurélié Dourdain : Nous avons reproduit les tendances observées les années précédentes.

Boris Ruelle : Est-ce que vous avez intégré les documents du Scot de la CACL ?

Vivien Rossi : Le Scot 2008 a bien été intégré dans l'étude.

Pierre Courtiade : Est-ce que l'on pourrait avoir des informations sur la zone de l'ouest et la zone du Gallion ? Nous sommes en train de réfléchir au renforcement du réseau de l'alimentation électrique.

Vivien Rossi : Oui, on peut vous fournir les résultats de nos analyses sur ces zones.

Benjamin Ouliac : Est-ce que l'impact des réseaux routiers ou fluviaux a été intégrer dans les scénarios de développement ?

Vivien Rossi : Le modèle utilisé actuellement intègre cet aspect mais pas de façon automatique. C'est-à-dire que si l'on décide d'aménager une nouvelle route il faudra décider manuellement de la dynamique territoriale induite. Une thèse démarre actuellement pour faire un modèle de dynamique territoriale « automatique » à l'échelle du plateau des Guyanes. Les résultats de cette activité vont contribuer à cette thèse.

Présentation de l'activité 4 : Réalisation du logiciel de simulation

Thomas Dolley, développeur du logiciel de l'activité 4

Support de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil3-guyasim-activite-4.pdf>

Vidéo de la démonstration du logiciel : <http://youtu.be/miLBNBZXPak>

Il a en particulier était souligné que le logiciel GuyaSim ne peut pas et ne doit pas se substituer à une étude d'impact sur le terrain.

Questions/Réponses

Pierre Courtiade : Il y a un grand nombre d'étude d'impact qui sont réalisées en Guyane. Ce serait que les données accumulées dans les études puissent contribuer aux connaissances scientifiques. Est-ce que vous avez utilisés des données issues d'étude d'impact dans le logiciel GuyaSim ?

Thomas Dolley : Non pas directement, nous avons utilisées des données issues d'étude d'impact comme les ZNIEFF.

Laure Verneyre : les études d'impacts sont des données publiques, normalement on peut y accéder. L'étude d'impact arrive au moment où l'on fait l'aménagement, la parcelle sera donc transformée après. Mais cela peut apporter des informations intéressantes sur la zone environnante.

Chris Baraloto : Parmi les efforts du projet, la standardisation des études d'impact est un résultat important du projet. La conservation des données également, la DEAL va mettre en place une grande base de données qui permettra au grand public d'accéder à ces données.

Laure Verneyre : Date des dernières données utilisées, en particulier pour les ZNIEFF ? Il faudrait préciser cette information dans le logiciel.

Thomas Dolley : Les données utilisées datent d'octobre 2013 et la plupart des dates des données utilisées sont renseignées dans la partie du logiciel présentant les données.

Boris Ruelle : Est-ce que le document de planification sont des documents d'entrée de base lorsque l'on construit des scénarios d'aménagement ou bien ont-ils seulement servis dans les scénarios prospectifs ?

Thomas Dolley : Ils ont uniquement été utilisés pour les scénarios prospectifs.

Vivien Rossi : Le logiciel est destiné aux services d'aménagement des communes, c'est eux qui rentreront les informations de planification au travers de parcellaires.

Boris Ruelle : Comment avez-vous agrégées des données de différentes échelles ?

Thomas Dolley : Dans le logiciel, l'unité élémentaire pour les indicateurs est l'hectare. Les surfaces incluses dans une unité élémentaire héritent des valeurs de l'unité élémentaire. Si un utilisateur a des informations contradictoire avec la carte d'occupation, ce sont les informations de l'utilisateur qui sont prise en compte. Par exemple, si une zone est classée en agricole et que l'utilisateur déclare que c'est de la forêt, le logiciel considérera que c'est de la forêt dégradée et affectera une biomasse de 180 tC/ha.

Vivien Rossi : Nous avons prévu de vous donner le logiciel sur des clés USB aujourd'hui, mais le fournisseur a du retard et nous les recevrons seulement ce soir. Nous vous les ferons parvenir par courrier.

Rémi Eve : Est-ce que les cartes et les rapports sont fournis avec le logiciel ?

Vivien Rossi : Tous les produits de GuyaSim, rapports, cartes, articles scientifiques ..., sont sur la clé.

Présentation des perspectives suite à GuyaSim

Bruno Hérault, chercheur à l'UMR Ecofog, responsable de l'activité 3

soutien de la présentation : <http://www.ecofog.gf/IMG/pdf/copil3-guyasim-perspectives.pdf>

Laure Verneyre : Comment doivent se faire les mises à jours ? Y-a-t-il une fréquence prévue ? Est-ce que les utilisateurs peuvent faire évoluer l'outil eux-même ?

Vivien Rossi : Certaines cartes vont être mises à jour par nos soins mais les utilisateurs peuvent aussi intégrer leurs propres cartes et travailler dessus.

Pierre Courtiade : Est-ce que vous envisagez d'augmenter le niveau d'information sur le carbone dans le sol lors du changement des sols ?

Vivien Rossi : Il y a déjà des expérimentations qui renseignent certaines transitions d'occupation du sol. Dans GuyaSim nous avons identifié les transitions qu'il faut caractériser pour que l'observatoire du carbone puisse effectuer un bilan carbone de la Guyane. Une fois que ces transitions seront caractérisées nous les renseigneront dans GuyaSim.

Anne-Marie Domenach : Il y a beaucoup de données sur le carbone dans le sol, notamment à l'IRD mais elles sont difficiles à trouver, cela vaudrait la peine d'essayer de les récupérer.

Benjamin Ouliac : GuyaSim sera utilisé pour évaluer les projets d'aménagement. Pour qu'il soit pleinement efficace, il faudrait renseigner les transitions d'affectation du sol non encore connue. A terme ce serait envisageable que ce soit un outil imposé pour évaluer tous les projets d'aménagement.

Vivien Rossi : L'homogénéisation des méthodes d'évaluation des projets d'aménagement offre en effet le grand avantage de pouvoir comparer facilement les projets.



Cahier des charges de l'application Guyasim

Projet	Guyasim
Work Package	WP4
UMR	ECOFOG

Sous la responsabilité de Guillaume Cornu et Thomas Dolley

Version	Date	Auteur	Description
1.0	28/06/2012	T.DOLLEY	Rédaction initiale

Contenu

1	But du document.....	81
2	Contexte	81
2.1	Contexte global du projet.....	81
2.1.1	Work Package 1 : Spatialisation des services éco-systémiques dans la forêt guyanaise 81	
2.1.2	Work Package 2 : Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales.....	82
2.1.3	Work Package 3 : Scénarios d’impacts des changements climatiques pour les forêts guyanaises	82
2.1.4	Work Package 4 : Réalisation du logiciel de simulation	82
2.2	Listes des principaux intervenants	82
3	Spécifications fonctionnelles globales.....	83
4	Spécifications fonctionnelles détaillées	84
4.1	Module « Création/Edition des scénarios d’aménagement ».....	84
4.1.1	Référentiel de l’occupation du sol en Guyane	84
4.1.2	Considérations générales aux méthodes de définition d’un scénario d’aménagements 89	
4.1.3	Fonctionnalité « Définition d’un aménagement à partir d’un fichier importé»	89
4.1.4	Fonctionnalité « Définition d’un aménagement par modification de la couche d’occupation des sols »	92
4.1.5	Fonctionnalité « Définition d’un aménagement à partir d’une page blanche »	94
4.1.6	Fonctionnalité « Définition d’un aménagement à partir d’un référentiel importé » ...	99
4.1.7	Fonctionnalité « Scénario d’aménagement simplifié pour étude prospective »	100
4.1.8	Fonctionnalité « Transitions multiples»	100
4.1.9	Fonctionnalité « Sauvegarde d’un scénario d’aménagement »	101
4.1.10	Typologie du sol envisagée.....	101
4.1.11	Principes régissant les changements d’occupation des sols	102
4.2	Module « Indicateur de carbone »	102
4.2.1	Zone forestière	102
4.2.2	Zone non forestière	105
4.2.3	Fonctionnalité « Evaluation du stock de carbone d’une zone géographique»	106
4.2.4	Fonctionnalité « Bilan d’un aménagement du territoire sur l’indicateur carbone» ...	108
4.2.5	Fonctionnalité « Comparaison de l’impact de 2 scénarios d’aménagement sur l’indicateur carbone »	110
4.2.6	Fonctionnalité « Evaluation du stock de carbone en fonction d’un fichier shape » ...	112

4.2.7	Fonctionnalité « Génération d'un fichier SIG avec des données attributaires »	114
4.2.8	Fonctionnalité « Génération d'une restitution synthétique »	116
4.2.9	Fonctionnalité « Indicateur au niveau de la Guyane »	118
4.3	Module « Gestion forestière »	118
4.3.1	Description générale du module	118
4.3.2	Fonctionnalité « Notion de séries et de massifs »	118
4.3.3	Fonctionnalité « Rapport au niveau des séries et des massifs »	119
4.3.4	Fonctionnalité « Définition d'un scénario d'aménagement forestier »	121
4.3.5	Fonctionnalité « Prévion du stock de carbone aérien après exploitation »	122
4.3.6	Fonctionnalité « Comparaison de 2 scénarios d'aménagement forestier »	123
4.3.7	Fonctionnalité « Indicateur de biodiversité en gestion forestière »	124
4.3.8	Fonctionnalité « Sauvegarde d'un scénario d'aménagement forestier »	124
4.4	Module « Indicateur sur le sol »	124
4.4.1	Fonctionnalité « Cartes des indicateurs du sol »	125
4.4.2	Fonctionnalité « Bilan d'un aménagement sur le sol »	127
4.5	Module « Indicateur de biodiversité »	128
4.5.1	Définition de l'indicateur de biodiversité	128
4.5.2	Données utilisées par le logiciel	128
4.5.3	Fonctionnalité « Evaluation de l'indicateur de biodiversité »	129
4.5.4	Fonctionnalité « Comparaison de 2 scénarios au niveau de la biodiversité »	132
4.5.5	Fonctionnalité « Distinguer les zones géographiques d'intérêt écologique des autres zones géographiques »	134
4.6	Module « Scénario de développement de la Guyane »	134
4.6.1	Description des scénarios de développement.	134
4.6.2	Fonctionnalité « Visualiser les scénarios »	134
4.6.3	Fonctionnalité « Indicateur sur les scénarios de développement »	138
4.7	Module « Prédiction de l'évolution des habitats selon différents scénarios de changements climatiques »	140
4.7.1	Fonctionnalité « Visualisation des effets du réchauffement climatique sur la Guyane » 140	
4.8	Module « Divers »	146
4.8.1	Fonctionnalité « Hypothèses scientifiques »	146
4.8.2	Fonctionnalité « Indiquer où les zones les données sont existantes et indiquer les zones où les données ne sont pas connues »	147
4.8.3	Fonctionnalité « Avertissement »	147

4.9	Module « Gestion des données »	147
4.9.1	Fonctionnalité « Mise à jour des données »	147
4.9.2	Fonctionnalité « Exporter les résultats ou données du logiciel »	150
5	Fonctionnalités optionnelles	150
5.1	Fonctionnalité « Consultations des états intermédiaires des scénarios de développement » 150	
5.2	Fonctionnalité « Comparer les données relatives au stock de carbone dans le temps » ...	150
5.3	Fonctionnalité « Evaluation du stock de carbone du sol des prairies »	151
5.4	Fonctionnalité « Prévoir en termes d'installations informelles les conséquences de la création d'une route ».....	152
5.5	Fonctionnalité « Evaluer le stock de carbone du sol de toute la Guyane »	152
5.6	Fonctionnalité « Effectuer des comparaisons entre années »	153
6	Fonctionnalités souhaitées qui ne seront pas implémentées.....	153
6.1	Fonctionnalité « Prédire l'évolution de l'indice de biodiversité ».....	153
6.2	Fonctionnalité « Prédire l'évolution de l'indice de biodiversité suite à la création d'une route/piste ».....	153
6.3	Fonctionnalité « Evaluer et suivre les indicateurs définis dans les SCOT ».....	153
6.4	Fonctionnalité « Déterminer, à partir des indicateurs, les zones d'installation optimales pour les agriculteurs ».....	153
6.5	Fonctionnalité « Exprimer les pertes de stock de carbone en équivalent gaz à effet de serre » 154	
7	Conditions techniques.....	154
7.1	Socle technique	154
7.2	Système d'exploitation.....	154
7.3	Langues.....	154
8	Divers.....	154
8.1	Intégration des modèles dans l'environnement technique de la plateforme régionale SIG 154	
9	Annexes	154
9.1	Lexique	154

1 But du document

Le but de ce document est de présenter et de décrire les fonctionnalités du logiciel Guyasim. Ce document servira de base à la réalisation du logiciel Guyasim.

2 Contexte

2.1 Contexte global du projet

L'objectif principal du projet est de construire un « **simulateur de la Guyane** » permettant de quantifier et de cartographier les évolutions probables d'indicateurs de services environnementaux, tels que le stock de carbone, la bêta-biodiversité ou le fonctionnement du sol (cf. Work package 1) selon différents scénarios prédéfinis (cf. Work package 2). Nous le ferons en mutualisant et en complétant les résultats des travaux scientifiques obtenus depuis plusieurs années par différents organismes de recherche (Cirad, Inra, CNRS, IRD) et d'enseignement supérieur (Université des Antilles et de la Guyane, AgroParistech) sur la forêt guyanaise (cf. Gourlet-Fleury et al., 2004 pour une synthèse). Cet outil aura une double fonctionnalité : d'une part il constituera un outil d'aide à la décision permettant d'optimiser l'aménagement et le développement du territoire ; d'autre part il fournira un laboratoire virtuel aux scientifiques guyanais permettant de tester plus facilement certaines hypothèses écologiques.

2.1.1 Work Package 1 : Spatialisation des services éco-systémiques dans la forêt guyanaise

Le travail de ce work package porte sur la spatialisation des services écosystémiques à l'échelle de la forêt guyanaise. Il s'agira plus particulièrement de travailler sur la détermination des indicateurs des services éco-systémiques et leur évaluation à l'échelle de la Guyane selon les différents types forestiers ou agricoles.

Les résultats attendus sont la construction et l'évaluation des indicateurs des services éco systémiques par habitat forestier et par type de zone agricole.

Le projet supporte des recherches pour aider à créer un indicateur de fonctionnement ou de l'état du sol. Mais nous ne disposons d'assez de données sur le sol pour être en mesure d'évaluer cet indicateur (une fois qu'il sera stabilisé) à l'échelle de la Guyane. Cependant, le logiciel sera conçu pour permettre une intégration ultérieure de cet indicateur sol lorsqu'il sera disponible.

Nos connaissances fines concernent la forêt. Nous pourrions mettre des valeurs génériques pour les services écosystémiques, par exemple celles établies par la FAO, pour les zones naturelles non forestières.

2.1.2 Work Package 2 : Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales

Le travail de ce work package porte sur les dynamiques socio-économiques et territoriales de la Guyane. Il s'agira plus particulièrement d'étudier le développement de la Guyane et les dynamiques induites par celui-ci afin d'élaborer des scénarios d'évolution de la Guyane pour les prochaines années.

Les résultats attendus sont la réalisation d'un rapport de synthèse décrivant les différents scénarios et la réalisation de cartes d'occupation des sols selon les différents scénarios envisagés aux différents pas de temps étudiés.

2.1.3 Work Package 3 : Scénarios d'impacts des changements climatiques pour les forêts guyanaises

Le travail de ce work package porte sur la modélisation des impacts des scénarios de changements climatiques. Cette phase va nécessiter des développements mathématiques pour intégrer des données climatiques et environnementales dans les modèles de dynamiques forestières.

Les résultats attendus sont un modèle réalisant les prédictions des évolutions des indicateurs de service éco-systémiques à partir de données climatiques, par habitat forestier.

2.1.4 Work Package 4 : Réalisation du logiciel de simulation

Le travail de ce work package porte sur la réalisation du logiciel de simulation. Il s'agira plus particulièrement de développer un logiciel, avec une interface graphique pour les utilisateurs, intégrant les résultats et connaissances des trois autres activités.

Le résultat attendu est un logiciel simple d'utilisation, permettant d'explorer, de façon interactive et graphique, l'évolution des services éco-systémiques forestiers suivant les scénarios de développement socio-économique choisis et l'impact des changements climatiques.

2.2 Listes des principaux intervenants

Tableau 1-Rôle et coordonnées des principaux intervenants

Personne	Rôle	Téléphone	E-mail
Thomas Dolley	Développeur	04 67 59 38 85	thomas.dolley@cirad.fr

Guillaume Cornu	Responsable Développement	04 67 59 37 41	guillaume.cornu@cirad.fr
Vivien Rossi	Chef de projet	05 94 32 92 05	vivien.rossi@cirad.fr
Marianne Sanlaville	Chargée de mission	05 94 32 92 73	marianne.sanlaville@gmail.com

3 Spécifications fonctionnelles globales

Le logiciel est découpé en plusieurs modules. Chaque module est un ensemble de fonctionnalités relatives au même thème. Les différents modules du logiciel Guyasim sont les suivants :

- Scénario de développement : module du logiciel qui permet de consulter les scénarios de développement de la Guyane,
- Scénario d'aménagement : module du logiciel qui permet de définir un scénario d'aménagement du territoire,
- Prédiction selon différents scénarios de changements climatiques : module du logiciel qui permet de consulter les prédictions d'évolution de la forêt de Guyane selon différents scénarios de changement climatique,
- Indicateur carbone : module du logiciel qui permet l'évaluation de l'indicateur de carbone. L'indicateur carbone sera le stock de carbone des zones forestières,
- Indicateur biodiversité : module du logiciel qui permet l'évaluation de l'indicateur de biodiversité,
- Indicateur sol : module du logiciel qui permet l'évaluation de différents indicateurs sur le sol,
- Gestion forestière : module du logiciel qui permet des calculs plus précis sur l'indicateur carbone en fonction des types d'exploitation,
- Gestion des données : module du logiciel qui permet d'exporter, d'importer et de gérer les données du logiciel,
- Divers : module qui contient les fonctionnalités non définies dans les autres modules.

4 Spécifications fonctionnelles détaillées

4.1 Module « Création/Edition des scénarios d'aménagement »

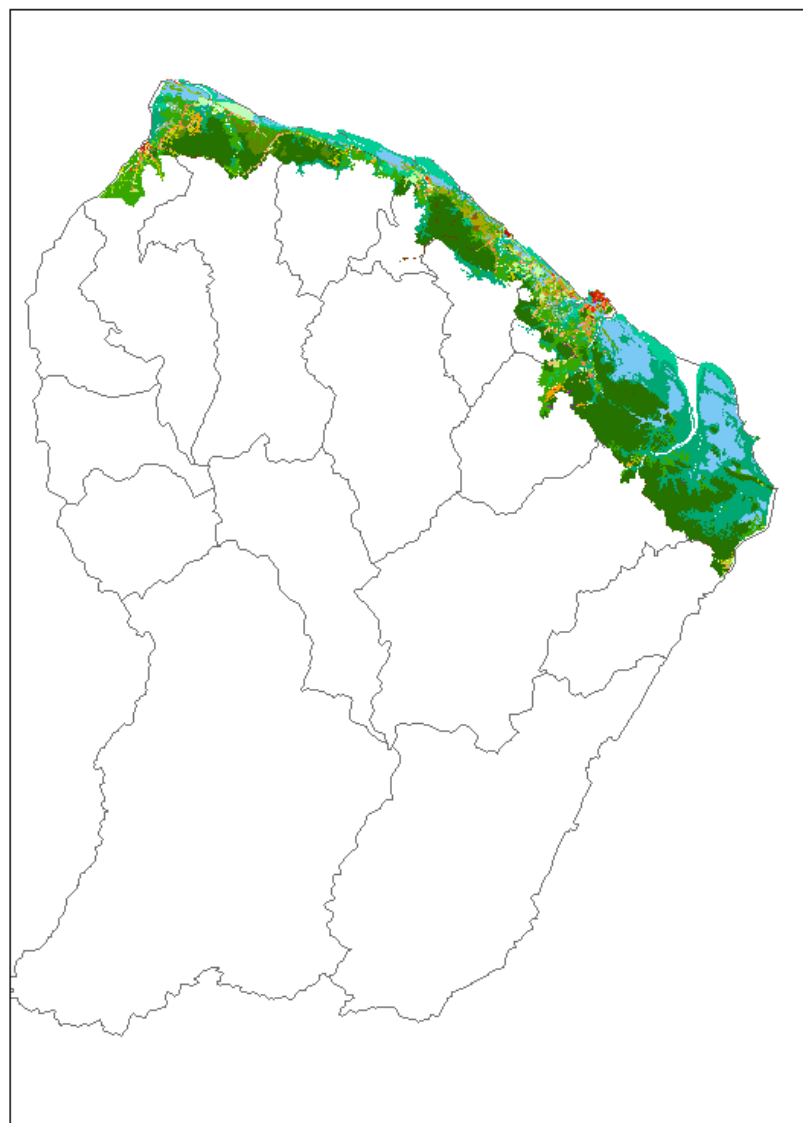
Pour prévoir l'impact d'un aménagement du territoire nous devons le modéliser. Les prochains paragraphes décrivent comment nous modélisons ces scénarios d'aménagement du territoire.

Un scénario d'aménagement dans le logiciel GUYASIM est considéré comme une modification de l'occupation des sols. Il sera donc modélisé sous la forme d'un parcellaire initial avec des informations relatives à l'occupation du sol et d'un ensemble de transitions. Nous appelons transition le passage d'un type d'occupation de sol à un autre pour une parcelle existante. Il est à noter que nous ne modéliserons pas les modifications topologiques des parcelles (découpage, fusion). Le logiciel proposera un parcellaire, avec des informations relatives à l'occupation du sol, par défaut. Nous appelons ce parcellaire initial « référentiel de l'occupation des sols en Guyane ».

4.1.1 Référentiel de l'occupation du sol en Guyane

En Guyane, nous disposons de plusieurs sources de données relatives à l'occupation des sols.

La première source de données est la cartographie de l'occupation des sols de la bande littorale effectuée par l'ONF. Cette cartographie est présentée dans les 2 cartes suivantes (Figure 1 et Figure 2)

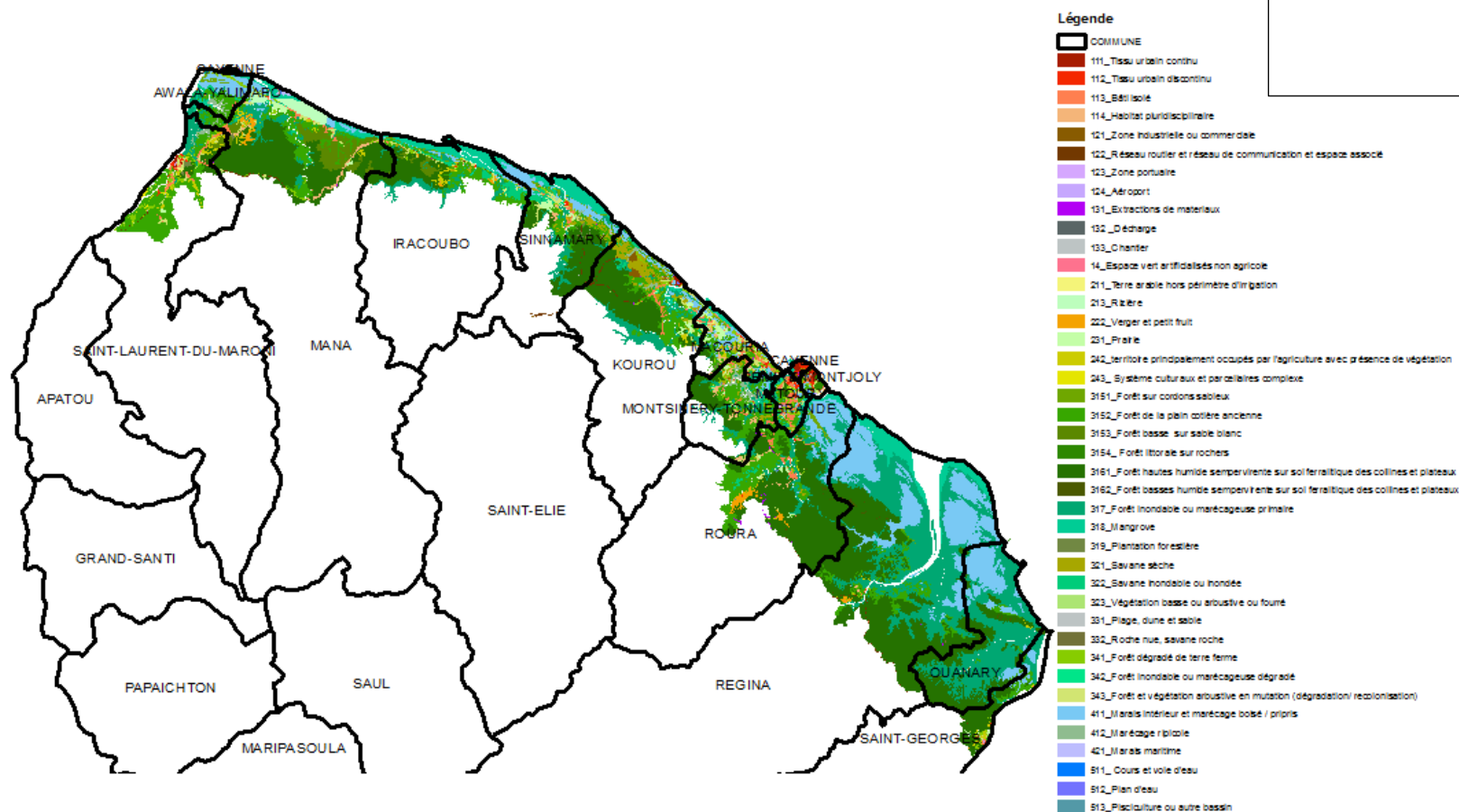


Légende

- 111_Tissu urbain continu
- 112_Tissu urbain discontinu
- 113_Bâti isolé
- 114_Habitat pluridisciplinaire
- 121_Zone industrielle ou commerciale
- 122_Réseau routier et réseau de communication et espace associé
- 123_Zone portuaire
- 124_Aéroport
- 131_Extractions de matériaux
- 132_Décharge
- 133_Chantier
- 14_Espace vert artificialisés non agricole
- 211_Terre arable hors périmètre d'irrigation
- 213_Rizières
- 222_Vergers et petit fruit
- 231_Prairie
- 242_Territoire principalement occupés par l'agriculture avec présence de végétation
- 243_Système culturaux et parcellaires complexes
- 3151_Frêt sur cordons sableux
- 3152_Frêt de la plaine côtière ancienne
- 3153_Frêt basse sur sable blanc
- 3154_Frêt littoral sur rochers
- 3161_Frêt hautes humide sempervirent sur sol ferrallitique des collines et plateaux
- 3162_Frêt basses humide sempervirent sur sol ferrallitique des collines et plateaux
- 317_Frêt inondable ou marécageuse primaire
- 318_Mangrove
- 319_Plantation forestière
- 321_Savane sèche
- 322_Savane inondable ou inondée
- 323_Végétation basse ou arbustive ou fourré
- 331_Plage, dune et sable
- 332_Roche nue, savane roche
- 341_Frêt dégradé de terre ferme
- 342_Frêt inondable ou marécageuse dégradé
- 343_Frêt et végétation arbustive en mutation (dégradation/ recolonisation)
- 411_Marais intérieurs et marécage boisé / pripris
- 412_Marécage ripicole
- 421_Marais maritimes
- 511_Cours et voie d'eau
- 512_Plan d'eau
- 513_Pisciculture ou autre bassin
- COMMUNE

Figure 24-Inventaire occupation des sols de Guyane-ONF 2008

Figure 25-Inventaire occupation des sols de Guyane
(zoom sur la bande littorale)-ONF 2008

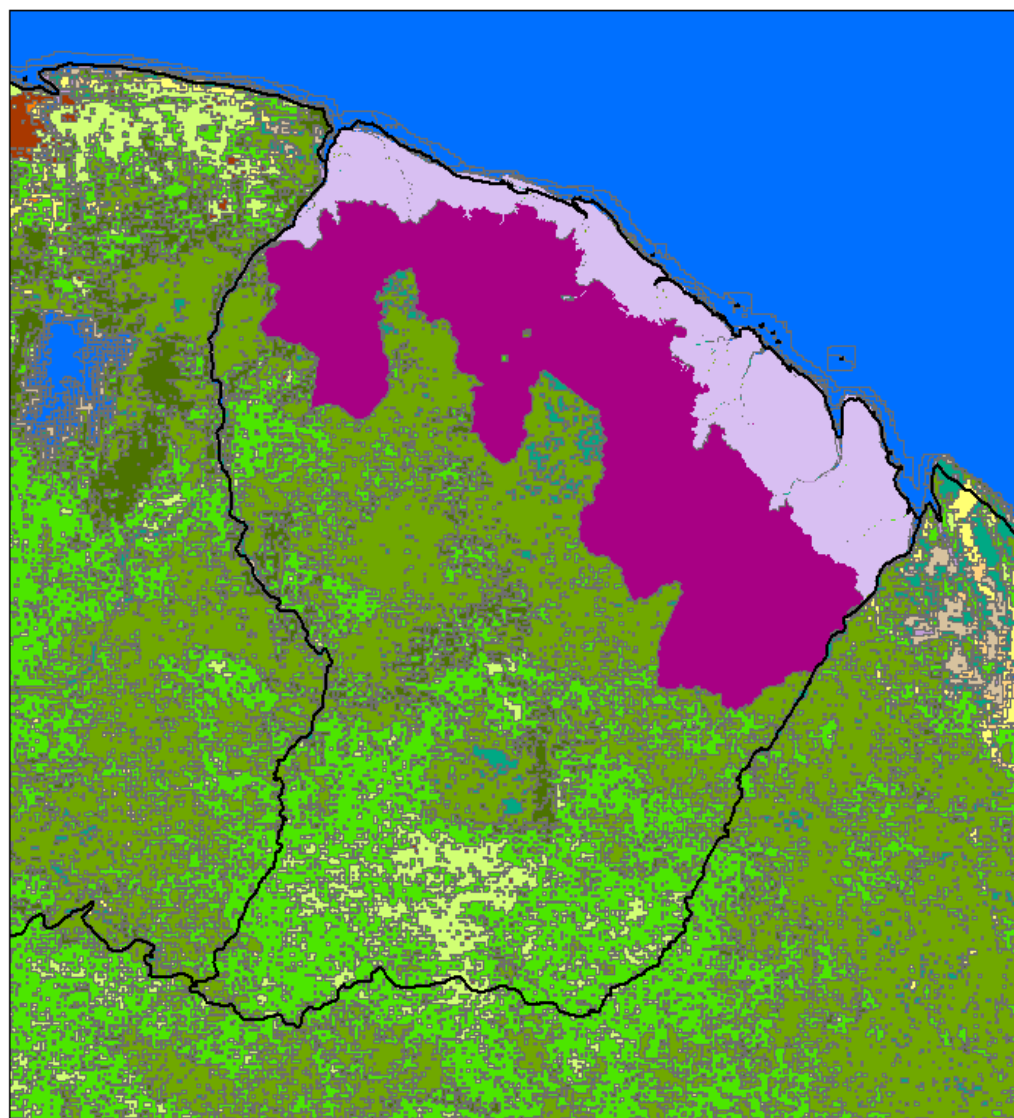


Pour les autres parties de la Guyane, l'équipe projet possède les informations suivantes :

- les informations relatives au domaine forestier permanent,
- les informations relatives à la couverture de la végétation.

Toutes ces données recouvrent la majorité de la Guyane (voir la carte de la Figure 3).

Cependant, certaines zones ne seront pas couvertes, et les données ne permettront pas de différencier les zones « urbaines » et les zones « agricoles » pour le territoire hors bande littorale. La configuration du territoire guyanais fait que cette limitation est acceptable.



Légende

- occupation du sol 2008
- domaine forestier permanent

Guyana_shield_classe

- <toutes les autres valeurs>

Class_id

- Permanent / Temporary waterbody
- Swamp / Montane bog (RSLC 14 and RSLC 15)
- Flooded forest / Montane thicket (RSLC 16 and RSLC 17)
- Low dense forest / Included savanna on poor drainage soils (RSLC 18)
- High forest with regular canopy mostly on terra firme (RSLC 19)
- High forest with disrupted canopy (RSLC 20)
- Mixed high and open forest (RSLC 21)
- Open forest / Euterpe palm forest (RSLC 22)
- Woodland savanna / Dry forest (RSLC 23 and RSLC 24)
- Tree / Savanna (RSLC 25 and RSLC 26)
- Grassland / Savanna (RSLC 28 and RSLC 30)
- Agriculture settlement / city (RSLC 32)

Figure 26-Carte représentant l'agrégation de toutes les sources de données relatives à l'occupation des sols en Guyane

Ces données seront donc agrégées pour définir une carte d'occupation des sols au niveau de la Guyane. Cette carte servira de base pour déterminer l'occupation du sol initiale des scénarios d'aménagements.

Un aménagement sera donc défini à partir d'un ensemble de modifications de la carte d'occupation des sols réalisée lors du projet.

4.1.2 Considérations générales aux méthodes de définition d'un scénario d'aménagements

Dans les paragraphes suivants, nous détaillons les différentes fonctionnalités offertes à un utilisateur pour définir un scénario d'aménagement du territoire dans le logiciel Guyasim. Pour faciliter la compréhension, nous illustrons ces possibilités par des exemples de scénarios d'aménagement simples. Nous utiliserons la légende suivante dans les exemples :

Zone agricole	
Zone de forêt	
Zone urbaine	

Pour définir un scénario d'aménagement du territoire nous définissons les 5 méthodes suivantes :

- définition à partir d'un fichier SIG importé dans le logiciel,
- définition par modification de la couche initiale d'occupation des sols,
- définition « page blanche »,
- définition par modification d'un parcellaire initial importé,
- définition d'un scénario d'aménagement simplifié pour étude prospective.

Chaque scénario sera identifié par un nom. L'utilisateur pourra aussi associer à son scénario une description de celui-ci.

4.1.3 Fonctionnalité « Définition d'un aménagement à partir d'un fichier importé »

L'utilisateur pourra importer un fichier « shape » qui définit l'aménagement du territoire.

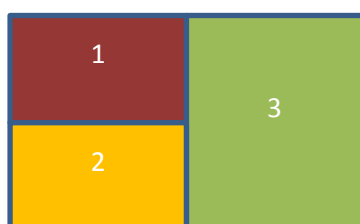
Les données attributaires de ce fichier devront codifier l'occupation du sol.

Une option permettra d'analyser l'occupation du sol et de confirmer que celle-ci est bien conforme à la typologie utilisée dans le logiciel.

Ce fichier sera analysé et croisé avec la carte d'occupation des sols décrite dans la partie ci-dessus. Le logiciel déduira donc les transitions possibles. Il permettra de préciser leurs dates.

Nous illustrons cette fonctionnalité par un exemple.

L'utilisateur importe le fichier « Kourou-ouest.shp ». Ce fichier décrit l'aménagement suivant :



Les données attributaires (fichier dbf) devront être de la forme suivante :

Tableau 2-Données attributaires du fichier « Kourou-ouest.shp »

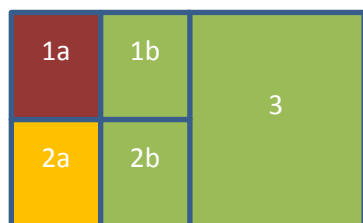
Identifiant	Occupation des sols après aménagement
1	Urbain
2	Agricole
3	Forêt

Toujours dans cet exemple, nous considérons que l'occupation initiale des sols de la zone de l'aménagement est la suivante :



Par croisement (union) avec la carte d'occupation des sols du logiciel, celui-ci déduira un parcellaire et les transitions qui définiront le scénario d'aménagement.

Dans cet exemple le parcellaire déduit sera le suivant :



Avec les occupations du sol suivantes

Tableau 3-Tableau représentant l'occupation du sol déduite par le logiciel

Zones	Occupation des sols initiale
1a	Urbain
1b	Forêt
2a	Agricole
2b	Forêt
3	Forêt

Le logiciel déduira les transitions suivantes.

Tableau 4-Tableau représentant les transitions déduites par le logiciel

Zones	Transition
1b	Forêt=>Urbain
2b	Forêt=>Agricole

Ces transitions, associées à la carte d'occupation du sol ci-dessus (Figure 6), définiront le scénario d'aménagement du territoire. L'utilisateur pourra renseigner les dates de modifications de l'occupation du sol. L'utilisateur pourra choisir aussi de ne pas préciser la date de la modification.

Dans cet exemple, nous choisissons de renseigner 2020 pour l'évolution de la parcelle 1b et rien pour la parcelle 2b. Les transitions seront donc les suivantes :

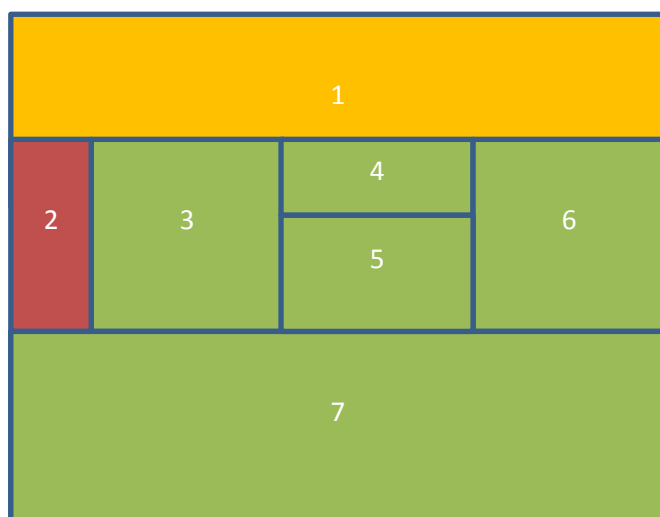
Tableau 5-Tableau représentant les transitions avec leurs dates

Zones	Transition	Date
1b	Forêt=>Urbain	2020
2b	Forêt=>Agricole	ND

4.1.4 Fonctionnalité « Définition d'un aménagement par modification de la couche d'occupation des sols »

L'utilisateur pourra définir un aménagement en partant de la couche d'occupation des sols initiale de la Guyane. Par contre, il ne pourra pas modifier les dimensions des zones géographiques, il ne pourra renseigner que les transitions.

Nous illustrons cette fonctionnalité par un exemple. Nous supposons que l'utilisateur veut définir un scénario pour une zone géographique dont la carte initiale d'occupation des sols est la suivante :



L'occupation du sol est la suivante :

Tableau 6-Tableau représentant l'occupation des sols initiale du scénario Iracoubo Est

Zone	Occupation du sol initiale
1	Agricole
2	Urbain
3	Forêt
4	Forêt
5	Forêt
6	Forêt
7	Forêt

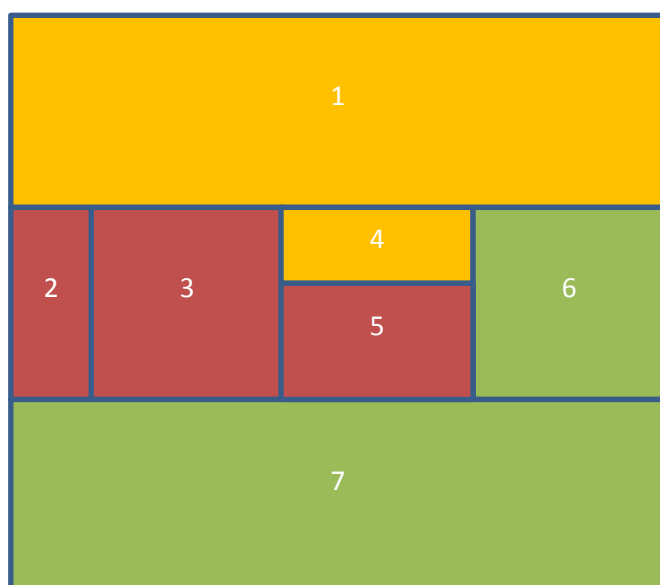
Si l'utilisateur veut définir le scénario d'aménagement suivant :

- Aménager la zone 3 en zone urbaine en 2020,
- Aménager la zone 4 en zone urbaine en 2030,
- Aménager la zone 5 en zone agricole.

Tableau 7-Tableau représentant les transitions du scénario Iracoubo Est

Zone	Transitions	Date (A remplir par l'utilisateur)
3	Forêt=>Urbain	2020
4	Forêt=>Urbain	2030
5	Forêt=>Agricole	ND

L'état final de l'aménagement du territoire correspond alors à la figure suivante :



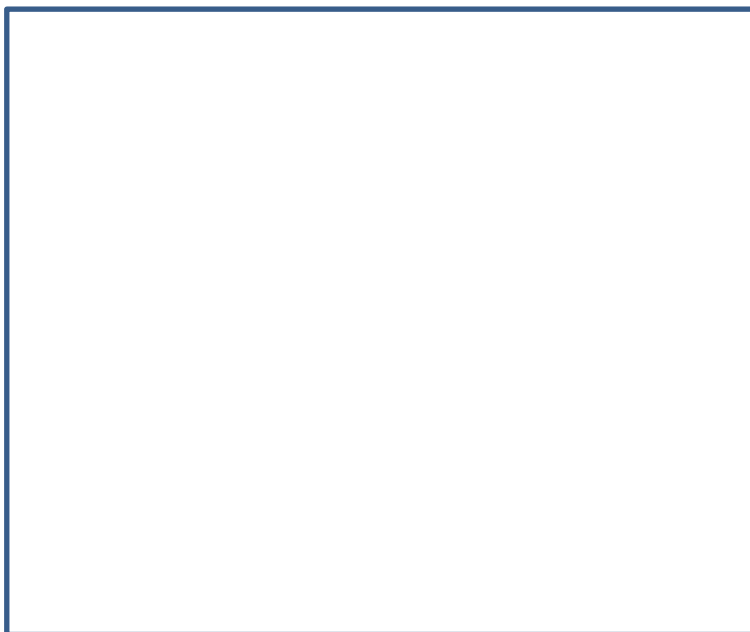
La carte initiale (Figure 7) Figure 7-Occupation des sols initiale de la zone du scénario d'aménagement Iracoubo Est et le tableau ci-dessus (Tableau 7) modéliseront alors le scénario d'aménagement Iracoubo Est.

4.1.5 Fonctionnalité « Définition d'un aménagement à partir d'une page blanche »

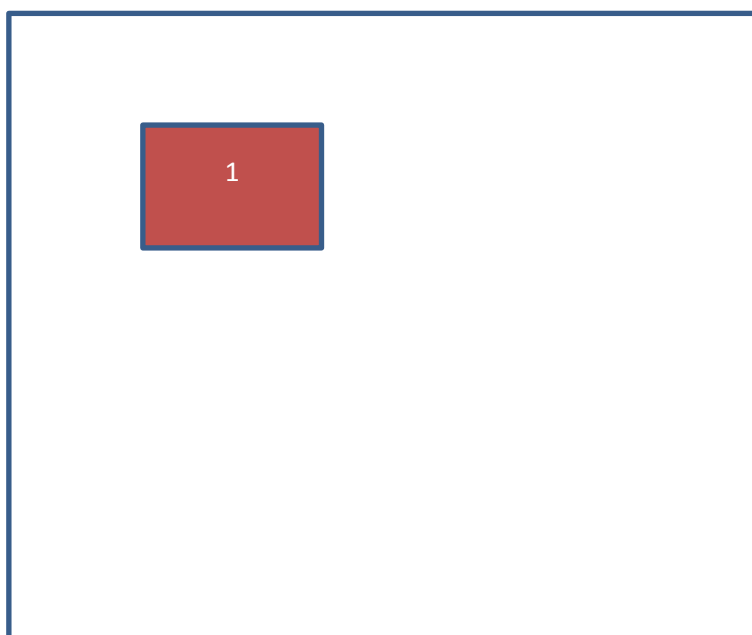
L'utilisateur pourra définir un scénario d'aménagement du territoire à partir d'une page blanche.

Il s'agit pour l'utilisateur d'utiliser les fonctionnalités SIG pour définir une nouvelle couche qui représente le scénario d'aménagement. Pour illustrer cette fonctionnalité, nous allons suivre un exemple de création d'un scénario d'aménagement du territoire.

1 -L'utilisateur crée la couche vide



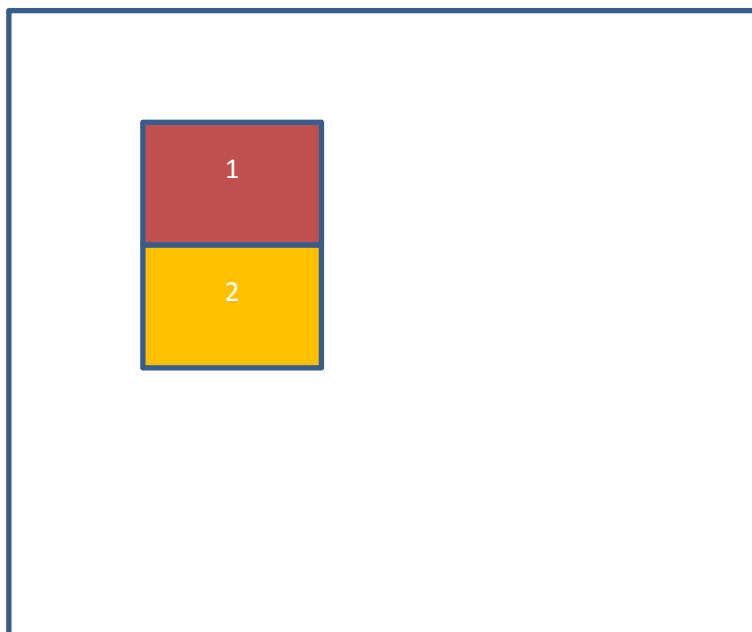
2a-II ajoute la zone urbaine 1



2b Il indique la nature et la date de l'aménagement de la zone définie

Identifiant	Occupation des sols après aménagement	Date
1	Urbain	2020

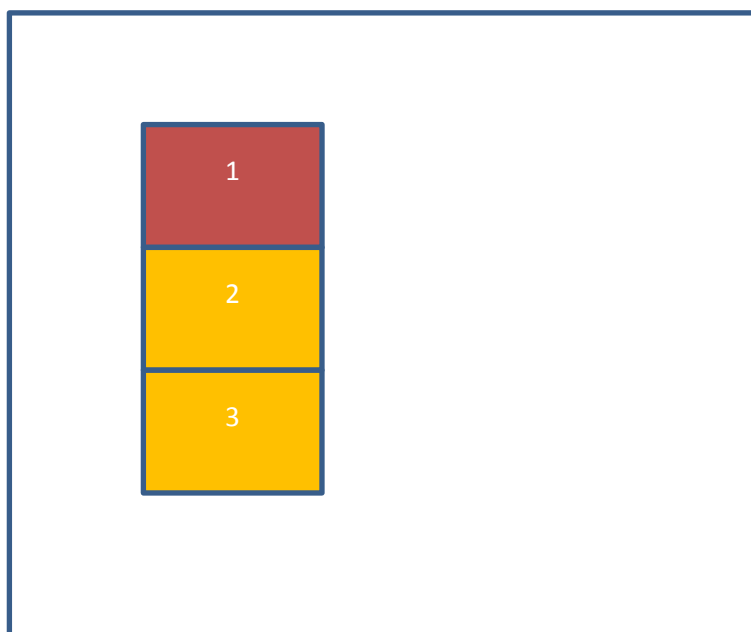
3a-II ajoute la zone agricole 2



3b Il indique la nature et la date de l'aménagement de la zone définie

Identifiant	Occupation des sols après aménagement	Date
1	Urbain	2020
2	Agricole	2025

4a-II ajoute la zone agricole 3

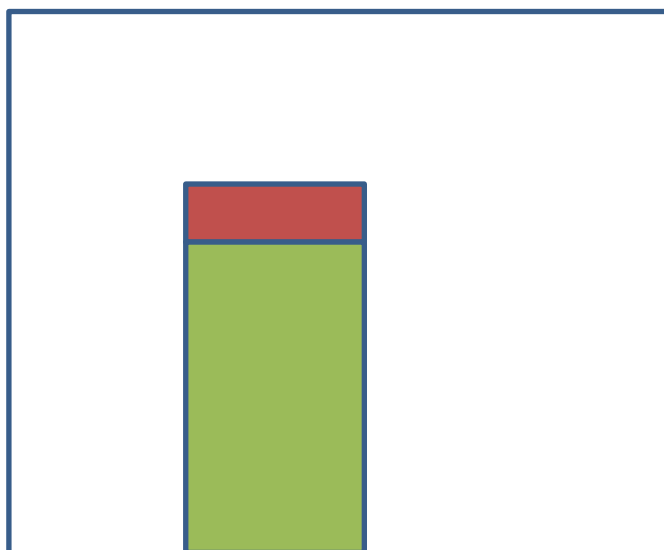


4b II indique en quelle année la transition a eu lieu

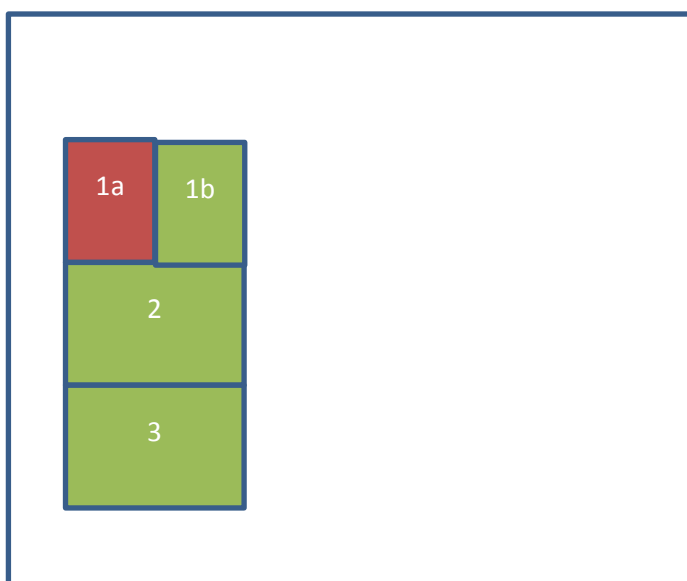
Identifiant	Occupation des sols après aménagement	Date
1	Urbain	2020
2	Agricole	2025
3	Agricole	ND

Le logiciel comparera cette couche avec la couche initiale d'occupation des sols pour permettre de connaître l'évolution de l'occupation des sols.

Dans cet exemple, nous considérons que l'occupation initiale des sols est la suivante :



Le logiciel déduira alors la carte initiale des sols suivante :



Et les transitions suivantes :

Zone	Transition	Date
1b	Forêt=>Urbain	2020
2	Forêt=>Agricole	2025
3	Forêt=>Agricole	ND

Ce qui modélisera le scénario d'aménagement du territoire.

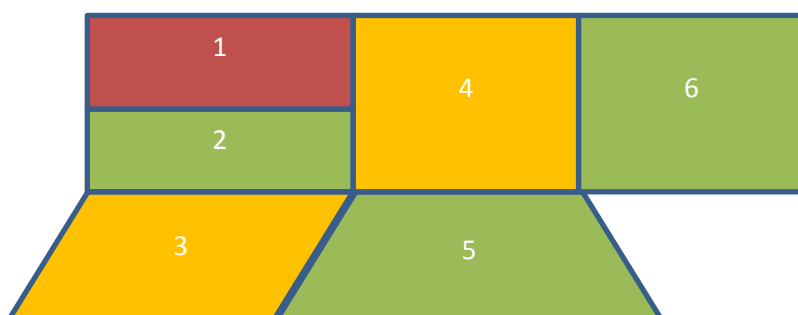
4.1.6 Fonctionnalité « Définition d'un aménagement à partir d'un référentiel importé »

Dans les 3 fonctionnalités précédentes le référentiel d'occupation des sols est la carte d'occupation du sol réalisée par les membres du projet GUYASIM. Dans cette fonctionnalité un utilisateur peut importer son propre référentiel d'occupation des sols. Celui-ci devra respecter la typologie des sols utilisée par le projet.

Cette fonctionnalité est de même nature que celle décrite dans le paragraphe 4.1.4. La philosophie est identique sauf que le référentiel d'occupation des sols n'est pas celui réalisé lors du projet mais le propre référentiel de l'utilisateur.

Pour décrire cette fonctionnalité nous prendrons l'exemple suivant.

L'utilisateur importe le fichier « occupation-Saint-Laurent.shp » car il souhaite se servir de ce parcellaire de base pour définir son scénario d'aménagement « Saint Laurent-Sud ». Celui-ci est de la forme suivante.



A partir de ce référentiel, il pourra définir le scénario suivant :

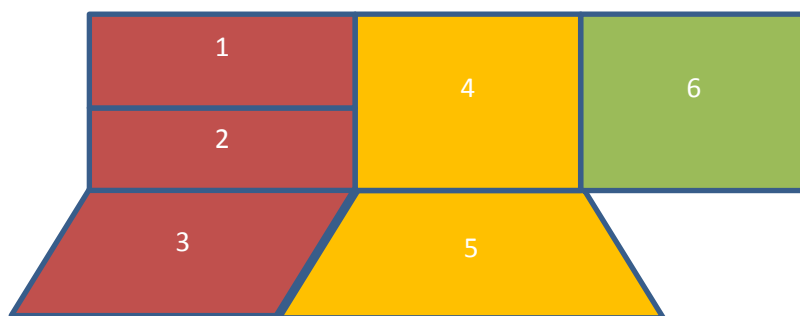
- La zone 2 est aménagée en zone urbaine à partir de 2020,
- La zone 3 est aménagée en zone urbaine à partir de 2020,
- La zone 5 est aménagée en zone agricole à partir de 2025.

En définissant le tableau de transitions suivant :

Zone	Transition	Date
2	Forêt=>Urbain	2020
3	Agricole => Urbain	2020
5	Forêt=> Agricole	2025

Tableau 8-Tableau de transition pour le scénario Saint Laurent Sud

L'occupation du sol à la fin du scénario sera donc la suivante :



Le tableau de transition et le parcellaire de base (Figure 9-Parcellaire de base importé par l'utilisateur pour le scénario Saint Laurent-Sud) modéliseront le scénario d'aménagement du territoire.

4.1.7 Fonctionnalité « Scénario d'aménagement simplifié pour étude prospective »

Les étapes de renseignements des transitions et de l'occupation finale des sols peuvent être longues. Pour simplifier la démarche, le logiciel permettra de définir un scénario sans transitions et sans préciser l'occupation finale du sol. Le logiciel prendra alors uniquement en compte l'emprise du scénario d'aménagement du territoire pour évaluer les indicateurs. Pour le carbone, par exemple, le logiciel considérera que l'ensemble du stock de carbone aérien de la zone aménagée sera perdu.

L'emprise du scénario d'aménagement du territoire pourra être définie en important un fichier « shape » ou en utilisant le logiciel.

4.1.8 Fonctionnalité « Transitions multiples»

Un utilisateur pourra modéliser plusieurs transitions pour une zone géographique en renseignant plusieurs transitions pour une même parcelle dans le tableau. Ainsi, le tableau de transition du scénario du paragraphe précédent est le suivant.

Zone	Transition	Date
2	Forêt=>Urbain	2015
3	Agricole => Urbain	2020
5	Forêt=> Agricole	2025

Tableau 9-Tableau de transition pour le scénario Saint Laurent Sud

Si l'utilisateur souhaite modéliser le fait que la zone 2 passe de forêt à agricole en 2015 et de agricole à urbain en 2020 alors il pourra ajouter une étape suivante dans l'ensemble des transitions pour le modéliser. Le tableau deviendra donc le suivant :

Zone	Transition	Date
2	Forêt=>Agricole	2015
2	Agricole =>Urbain	2020
3	Agricole => Urbain	2020
5	Forêt=> Agricole	2025

Tableau 10-Tableau de transition pour le scénario Saint Laurent Sud avec transitions multiples

4.1.9 Fonctionnalité « Sauvegarde d'un scénario d'aménagement »

Un scénario d'aménagement pourra être sauvegardé. Ce scénario pourra être ouvert ultérieurement pour être modifié.

4.1.10 Typologie du sol envisagée

La typologie du sol envisagée est la suivante:

- urbain,
- agricole,
- voie de communication,
- forêt,
- marécage,
- exploitation minière,
- lac/cours d'eau,
- savane.

Des sous-catégories de cette typologie pourront être renseignées pour des besoins particuliers. Ainsi nous utiliseront une sous-catégorie « prairie » dans la catégorie « agricole » pour mettre en œuvre la fonctionnalité d'évaluation du carbone du sol.

4.1.11 Principes régissant les changements d'occupation des sols

Certaines transitions sont très peu probables, par exemple, les changements d'urbain vers forêt, ou voie de communications vers forêt sont considérés comme très peu probables.

Les transitions suivantes généreront donc des « Mise en garde » si l'utilisateur les définit pour une zone géographique :

- urbain => tous les types sauf voie de communication,
- voie de communication => tous les types sauf urbain,
- lac/cours d'eau=> tous les types,
- tous les types => lac/cours d'eau,
- exploitation minière=> agricole,
- agricole=>forêt.

De plus, afin de modéliser le phénomène de « déforestation indirecte », si, entre le début du scénario et la fin du scénario, la surface des terres agricoles diminue alors un « Warning » apparaîtra pour indiquer la probable déforestation d'une zone forestière pour compenser la perte de terre agricole.

4.2 Module « Indicateur de carbone »

L'indicateur de carbone sera le stock de carbone. C'est une valeur numérique qui indique la masse de carbone présente sur une zone géographique. La notion de stock de carbone est une notion complexe, nous la détaillons donc dans les paragraphes suivants. Nous allons tout d'abord nous intéresser au stock de carbone dans une zone forestière puis au stock de carbone dans les autres types de zones.

4.2.1 Zone forestière

Dans une zone forestière le carbone est présent dans plusieurs compartiments de la forêt, ils sont décrits ci-dessous :

Tableau 11-Définition des stocks de carbone en zone forestière²

Catégorie	Définition
Carbone dans la biomasse aérienne	Carbone présent dans toute la biomasse vivante au-dessus du sol, y compris les tiges, les souches, les branches, l'écorce, les graines et le feuillage.

²Termes et définitions utilisés dans FRA 2010. <http://www.fao.org/docrep/013/i1757f/i1757f13.pdf>

Carbone dans la biomasse souterraine	Carbone présent dans toute la biomasse de racines vivantes. Les radicelles de moins de 2 mm de diamètre sont exclues car il est souvent difficile de les distinguer empiriquement de la matière organique du sol ou de la litière.
Carbone dans le bois mort	Carbone présent dans toute la biomasse ligneuse non vivante hors de la litière, soit sur pied, soit gisant au sol, soit dans le sol. Le bois mort comprend le bois gisant à la surface, les racines mortes et les souches dont le diamètre est supérieur ou égal à dix cm.
Carbone dans la litière	Carbone présent dans toute la biomasse non vivante dont le diamètre est inférieur au diamètre minimal pour le bois mort (e.g., 10cm), gisant à différents stades de décomposition au-dessus du sol minéral ou organique.
Carbone dans le sol	Carbone organique présent dans les sols minéraux et organiques (y compris les tourbières) jusqu'à une profondeur spécifique

Le carbone dans la biomasse aérienne peut être décomposé en 2 sous-catégories :

- Le carbone dans la biomasse aérienne des arbres,
- Le carbone dans la biomasse aérienne des autres espèces (sous-bois, palmiers, épiphytes, lianes).

La biomasse peut être convertie en stock de carbone avec l'équation suivante :

$$M_{\text{carbone}} = 0.475 * M_{\text{biomasse}}^3$$

Nous disposons des chiffres suivants pour l'estimation du stock de carbone en Guyane ⁴:

Tableau 12-Estimation de la biomasse et du carbone par compartiment d'une zone forestière

Compartiment	Biomasse (tonnes de matière sèche par hectare)	Carbone (tonnes de Carbone par hectare)
Biomasse aérienne des arbres	Nouvelles estimations en fonction de la localisation (cf. ci-dessous)	0.475 *biomasse
Biomasse aérienne autre	15 à 30	7,125 à 14,25

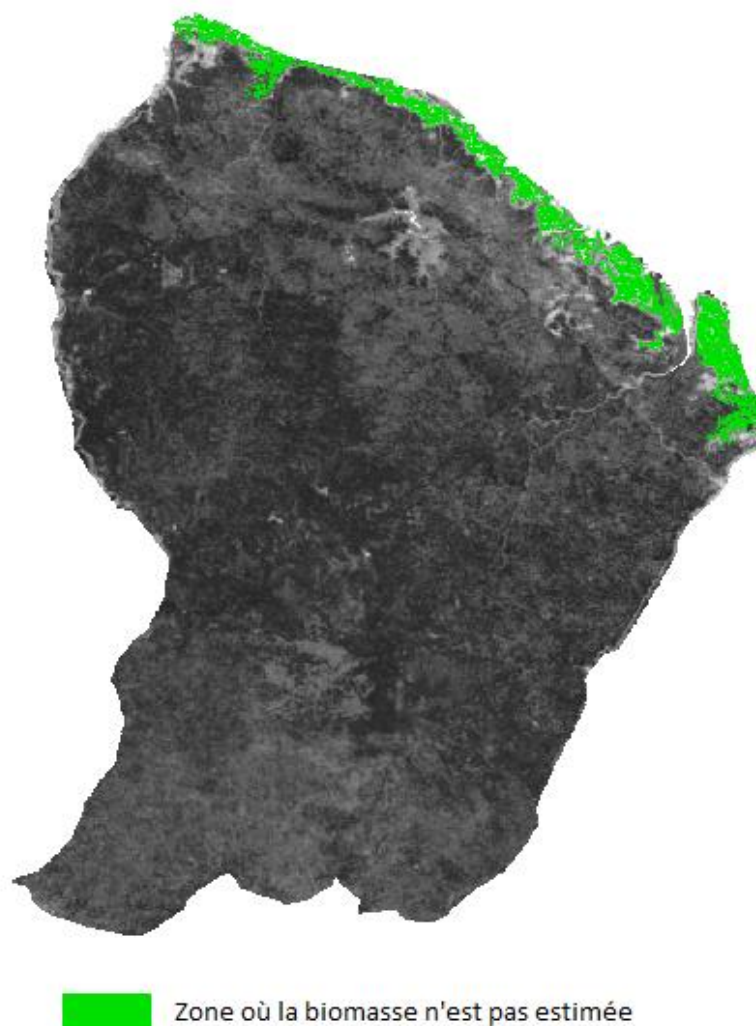
³ Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour la forêt guyanaise Guitet S, Blanc L, Chave J., Gomis A.

⁴ Expertise sur les références dendrométriques nécessaires au renseignement de l'inventaire national de gaz à effet de serre pour la forêt guyanaise Guitet S, Blanc L, Chave J., Gomis

qu'arbre		
Litière et bois mort	20 à 40	9,5 à 19
Biomasse souterraine	Méthode 1 : 30 à 80	14,25 à 38
	Méthode 2 : 50 % de la biomasse des arbres	0.475 *biomasse
Sol		75 à 100

La biomasse des arbres sera estimée grâce aux travaux de Quentin Molto, une carte du type suivant sera produite (les niveaux de gris indiquent le stock de carbone aérien des arbres de la zone).

Figure 34-Exemple de carte permettant de connaître le stock de carbone aérien des arbres



Pour une zone géographique, le stock de carbone sera donc évalué de la manière suivante :

Compartiment	Valeur basse	Valeur moyenne	Valeur haute
Biomasse aérienne des arbres	NECB	NECM	NECH
Biomasse aérienne autre qu'arbre	7,125*S	10,6875*S	14,25*S
Litière et bois mort	9,5*S	14,25*S	19*S
Biomasse souterraine	14,25*S ou 50% de NECB	26,125*S ou 50% de NECM	38*S ou 50% de NECH
Sol	75*S	87,5*S	100*S
Total	NECB+105,875*S Ou 1,5*NECB +91,625*S	NECM + 138,5625*S Ou 1,5*NECB+112,4375*S	NECH + 171,25*S Ou 1,5*NECH + 133,25*S

Tableau 13-Tableau représentant comment le stock de carbone est calculé

Dans ce tableau NECB, NECM et NECH sont les valeurs tirées des travaux de Quentin Molto et S la superficie de la zone géographique.

Dans ce tableau NECB, NECM et NECH sont les respectivement l'estimation basse, l'estimation moyenne et l'estimation haute du stock de carbone tirées des travaux de Quentin Molto et S la superficie de la zone géographique.

Pour convenir aux utilisateurs, les méthodes suivantes seront définies:

Méthode « Biomasse aérienne des arbres » : Cette méthode permettra d'estimer uniquement le stock de carbone de la biomasse aérienne des arbres.

Méthode « Biomasse aérienne » : Cette méthode permettra d'estimer le stock de carbone de la biomasse aérienne des arbres et de la biomasse aérienne autre qu'arbre.

Méthode « Stock total zone forestière » : Cette méthode permettra d'estimer le stock de carbone de tous les compartiments.

4.2.2 Zone non forestière

Pour les zones non forestières, il n'existe actuellement pas de méthode ou de chiffre pour la Guyane.

Les compartiments du carbone sont généralement définis dans la littérature sous 2 formes différentes :

- Soit biomasse aérienne, biomasse souterraine et sol,

- Soit plante et sol.

Pour incorporer les résultats des futurs travaux de recherche, le logiciel permettra de définir des méthodes d'évaluation pour les différentes occupations du sol.

Pour illustrer cette fonctionnalité, nous définissons 2 méthodes la **méthode A** et la **méthode B**.

Pour la **méthode A**, nous supposons que nous connaissons uniquement le stock de carbone pour les zones agricoles. Une méthode d'évaluation du stock de carbone pourra être définie dans le logiciel de la manière suivante :

	Compartiment	Stock de carbone tC/ha ⁻¹ (Valeur basse)	Stock de carbone tC/ha ⁻¹ (Valeur moyenne)	Stock de carbone tC/ha ⁻¹ (Valeur haute)
Zone agricole	Biomasse aérienne	25	50	75
	Biomasse souterraine	10	25	40
	Sol	5	10	15

Tableau 14-Tableau représentant la méthode de calcul du stock de carbone A

Pour la **méthode B**, nous supposons que nous connaissons le stock de carbone pour les zones agricoles et pour les zones urbaines. Une méthode d'évaluation du stock de carbone pourra être définie dans le logiciel de la manière suivante :

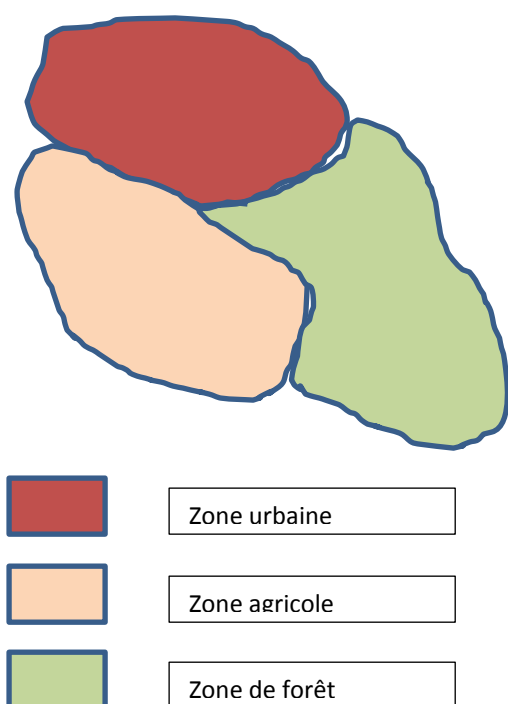
	Compartiment	Stock de carbone tC/ha ⁻¹ (Valeur basse)	Stock de carbone tC/ha ⁻¹ (Valeur moyenne)	Stock de carbone tC/ha ⁻¹ (Valeur haute)
Zone agricole	Plante	25	50	75
	Sol	10	25	40
Zone urbaine	Plante	0	0	0
	Sol	5	10	12

Tableau 15-Tableau représentant la méthode de calcul du stock de carbone B

4.2.3 Fonctionnalité « Evaluation du stock de carbone d'une zone géographique »

Pour une zone géographique donnée, une méthode d'évaluation du stock de carbone devra être choisie pour afficher les résultats souhaités.

Pour illustrer cette fonctionnalité, nous prenons la zone géographique suivante comme exemple :



Dans cet exemple, la superficie de chaque zone est de 2 hectares.

La méthode « **Biomasse aérienne des arbres** » donnera le résultat suivant :

Compartiment	Valeur basse	Valeur moyenne	Valeur haute
Biomasse aérienne des arbres	200	220	260

Tableau 16-Estimation du stock de carbone avec la méthode « Biomasse aérienne des arbres »

La méthode « **Biomasse aérienne** » pour les zones forestières et la **méthode A** pour les autres zones donneront le résultat suivant :

Typologie du sol	Compartiment	Valeur basse	Valeur moyenne	Valeur haute
Zone forestière	Biomasse aérienne des arbres	200	220	260
	Biomasse aérienne autre qu'arbre	14,25	21,375	28,5
Zone	Biomasse	50	100	150

agricole	aérienne			
	Biomasse souterraine	20	50	80
	Sol	10	20	30
Zone urbaine	Biomasse aérienne	NC	NC	NC
	Biomasse souterraine	NC	NC	NC
	Sol	NC	NC	NC
TOTAL		294,25+NC	411,375+NC	548,5+NC

Tableau 17-Estimation du stock de carbone avec la méthode « Biomasse aérienne» et méthode A

La méthode « **Biomasse aérienne** » pour les zones forestières et la **méthode B** pour les autres zones donneront le résultat suivant :

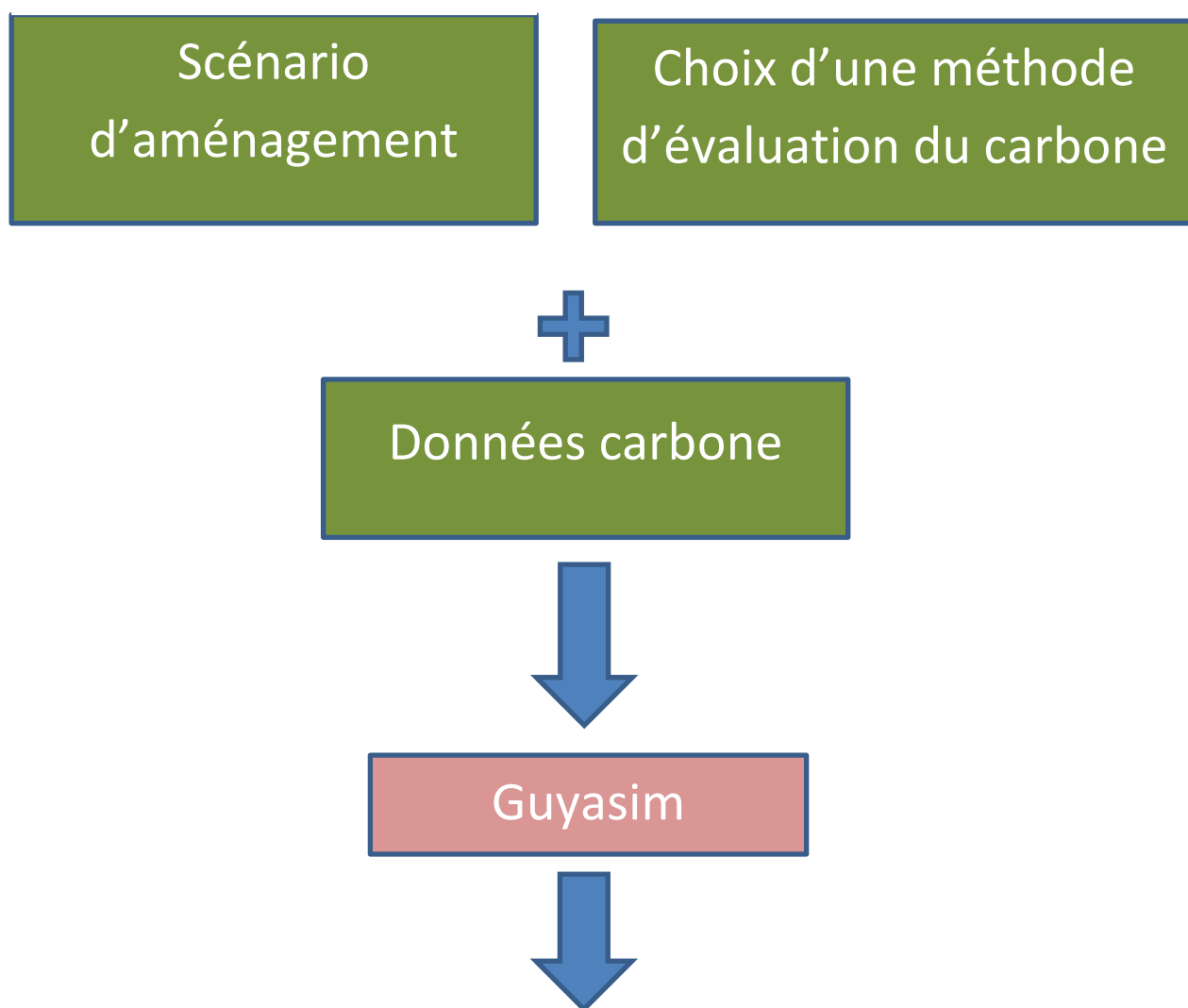
Typologie du sol	Compartiment	Valeur basse	Valeur moyenne	Valeur haute
Zone forestière	Biomasse aérienne des arbres	200	220	260
	Biomasse aérienne autre qu'arbre	14,25	21,375	28,5
Zone agricole	Plantes	50	100	150
	Sol	20	50	80
Zone urbaine	Plantes	0	0	0
	Sol	10	15	20
TOTAL		284,25	391,375	518,5

Tableau 18-Estimation du stock de carbone avec la méthode « Biomasse aérienne» et méthode B

4.2.4 Fonctionnalité « Bilan d'un aménagement du territoire sur l'indicateur carbone»

Le bilan d'un aménagement dépendra de la méthode d'évaluation du carbone choisie. Deux représentations seront possibles. Une sous la forme de bilan et une sous la forme de graphique. La représentation sous forme de graphique n'est possible que si les aménagements sont datés (voir module relatif au scénario d'aménagement du territoire).

Figure 36-Schéma simplifié de la fonctionnalité



Bilan d'un scénario d'aménagement du territoire

	Avant	Après	Bilan
Carbone dans la biomasse aérienne	150	0	-150
Carbone dans la biomasse souterraine	30	15	- 15
Carbone dans le bois mort et la litière	10	0	- 0
Carbone dans le sol	70	70	0
Total stock de carbone	260	85	- 175

Le logiciel permettra aussi de calculer un graphique représentant l'évolution du stock de carbone.

Figure 37-Courbe d'impact d'un scénario d'aménagement du territoire



En fonction de la méthode et du scénario d'aménagement choisis le stock de carbone ne sera pas forcément entièrement quantifiable (exemple : si le scénario contient des zones agricoles et que la méthode d'évaluation du carbone ne sait pas comment évaluer le stock de carbone des zones agricoles). Alors le bilan s'appuiera uniquement sur le stock de carbone quantifiable.

4.2.5 Fonctionnalité « Comparaison de l'impact de 2 scénarios d'aménagement sur l'indicateur carbone »

Dans cette fonctionnalité, l'utilisateur pourra comparer les résultats de 2 scénarios d'aménagement du territoire. La fonctionnalité est schématiquement présentée ci-dessous :

Figure 38-Schéma simplifié de la fonctionnalité

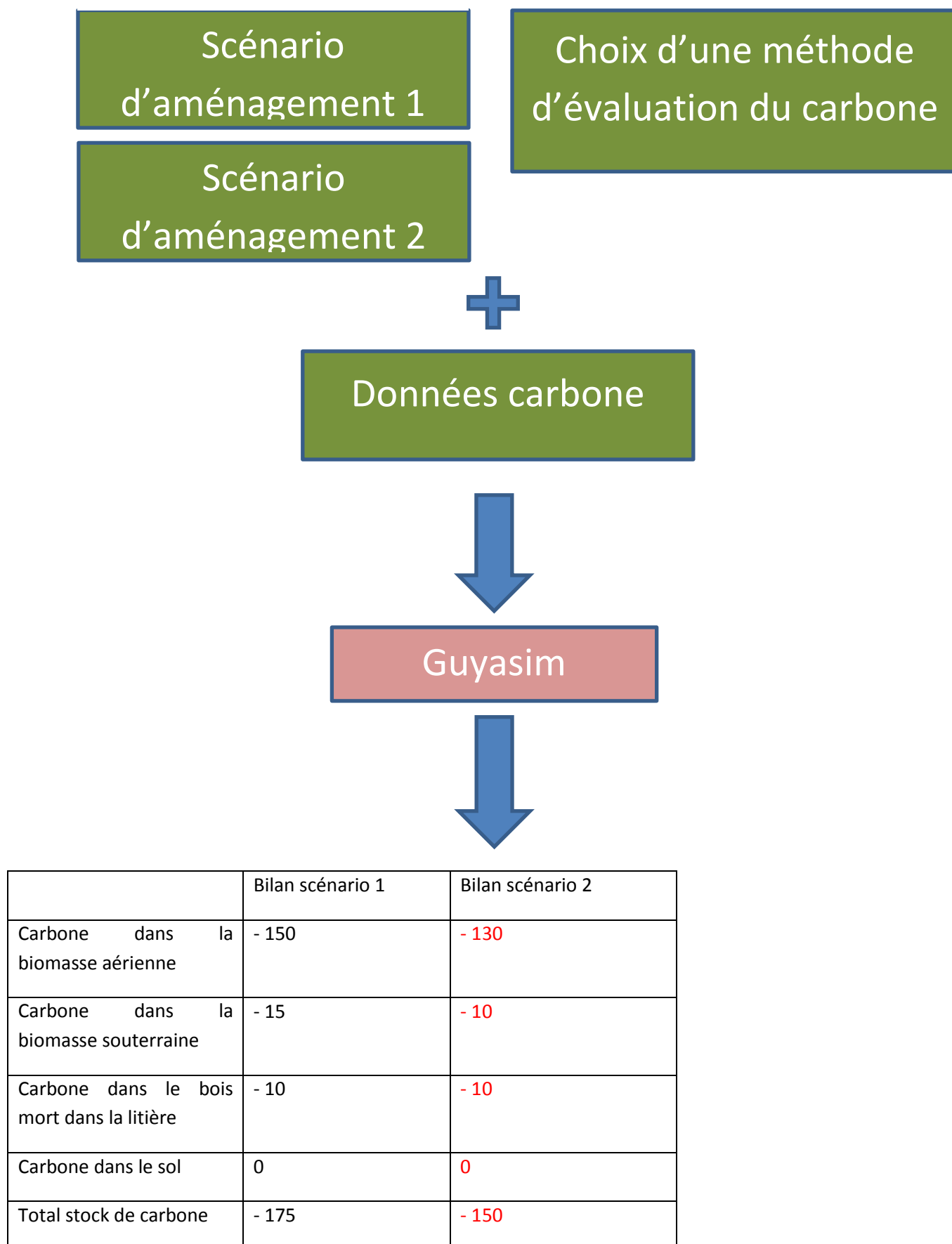
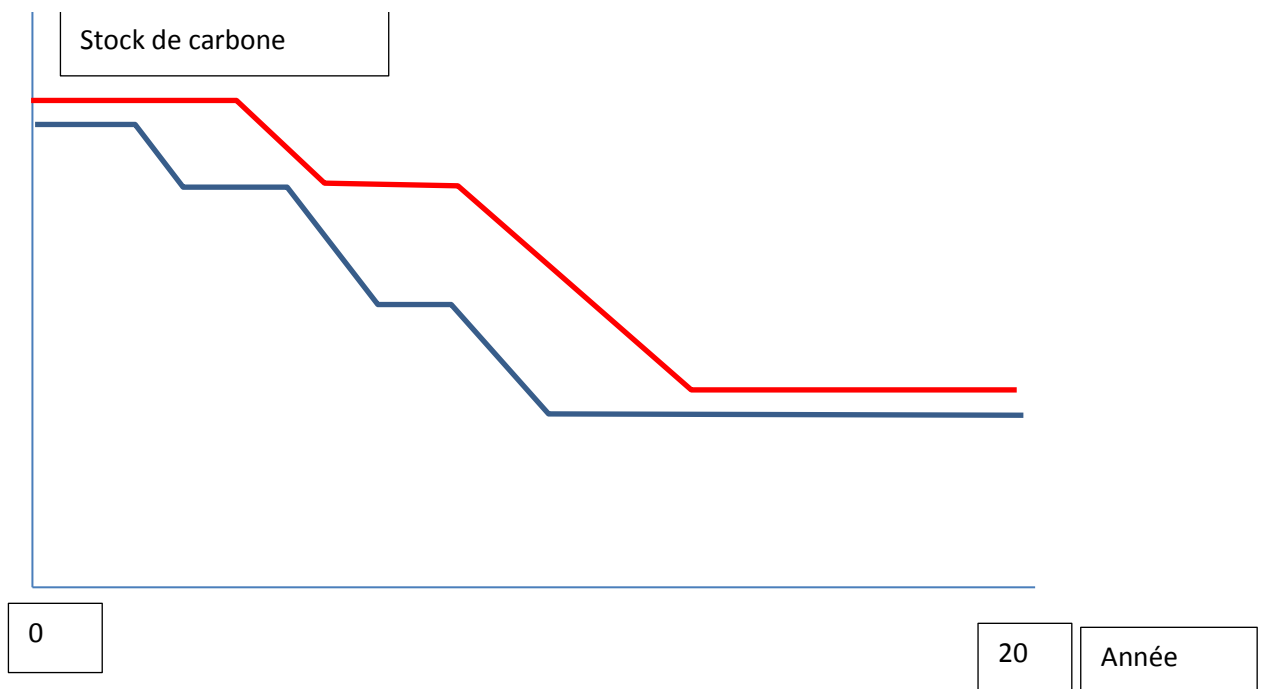


Figure 39-Courbes comparatives d'impact de 2 scénarios d'aménagement du territoire

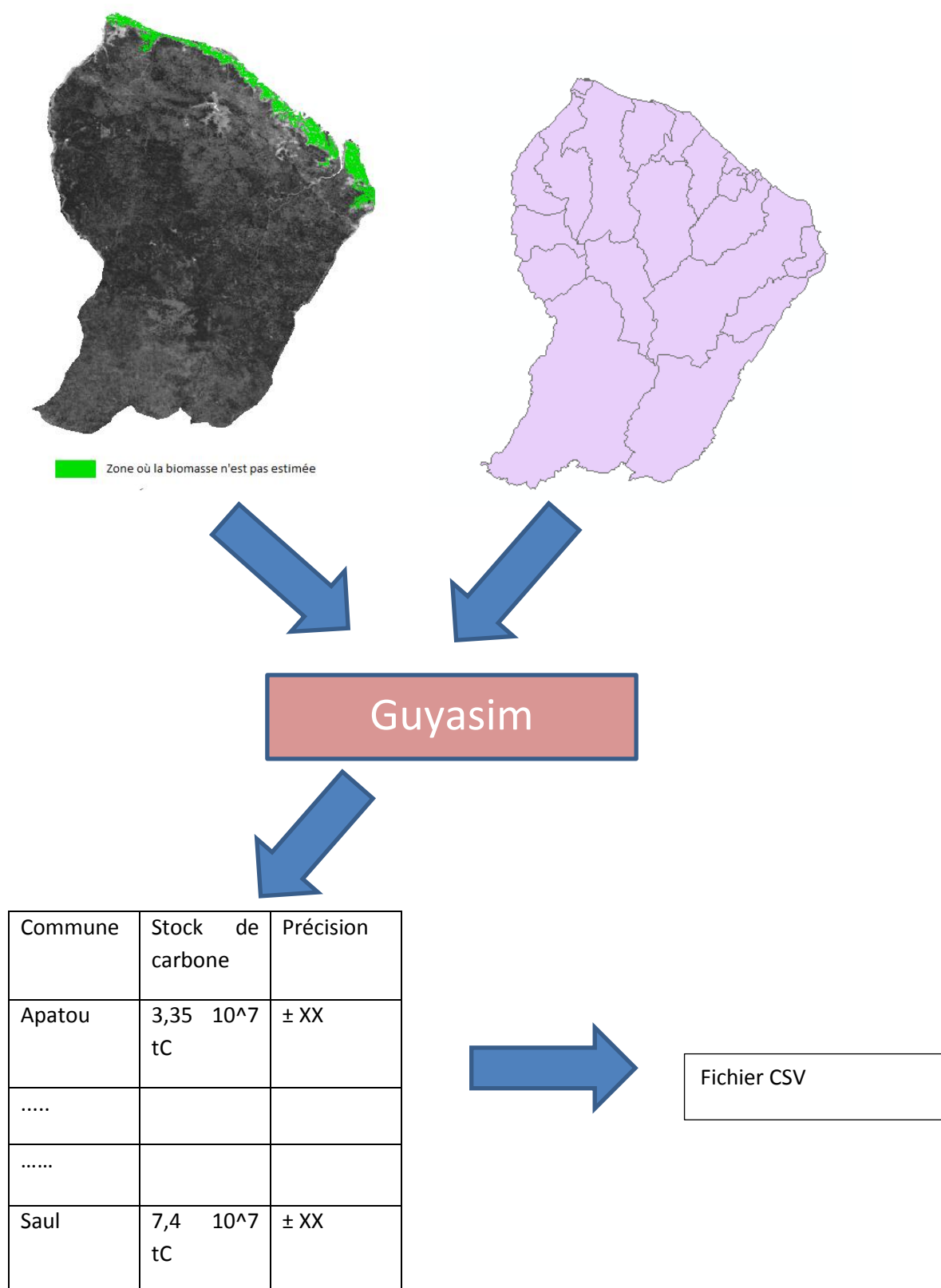


4.2.6 Fonctionnalité « Evaluation du stock de carbone en fonction d'un fichier shape »

L'utilisateur pourra croiser un fichier « shape » avec les informations relatives au carbone pour calculer le stock de carbone par polygone. L'utilisateur devra préciser quel champ des données attributaires du fichier SIG il souhaite utiliser.

Dans l'exemple suivant nous prenons un fichier « shape » qui représente les communes de Guyane. En croisant ce fichier avec les données carbone, le logiciel produira un tableau représentant le stock de carbone par commune (dans cet exemple l'utilisateur a utilisé le champ nom des données attributaires).

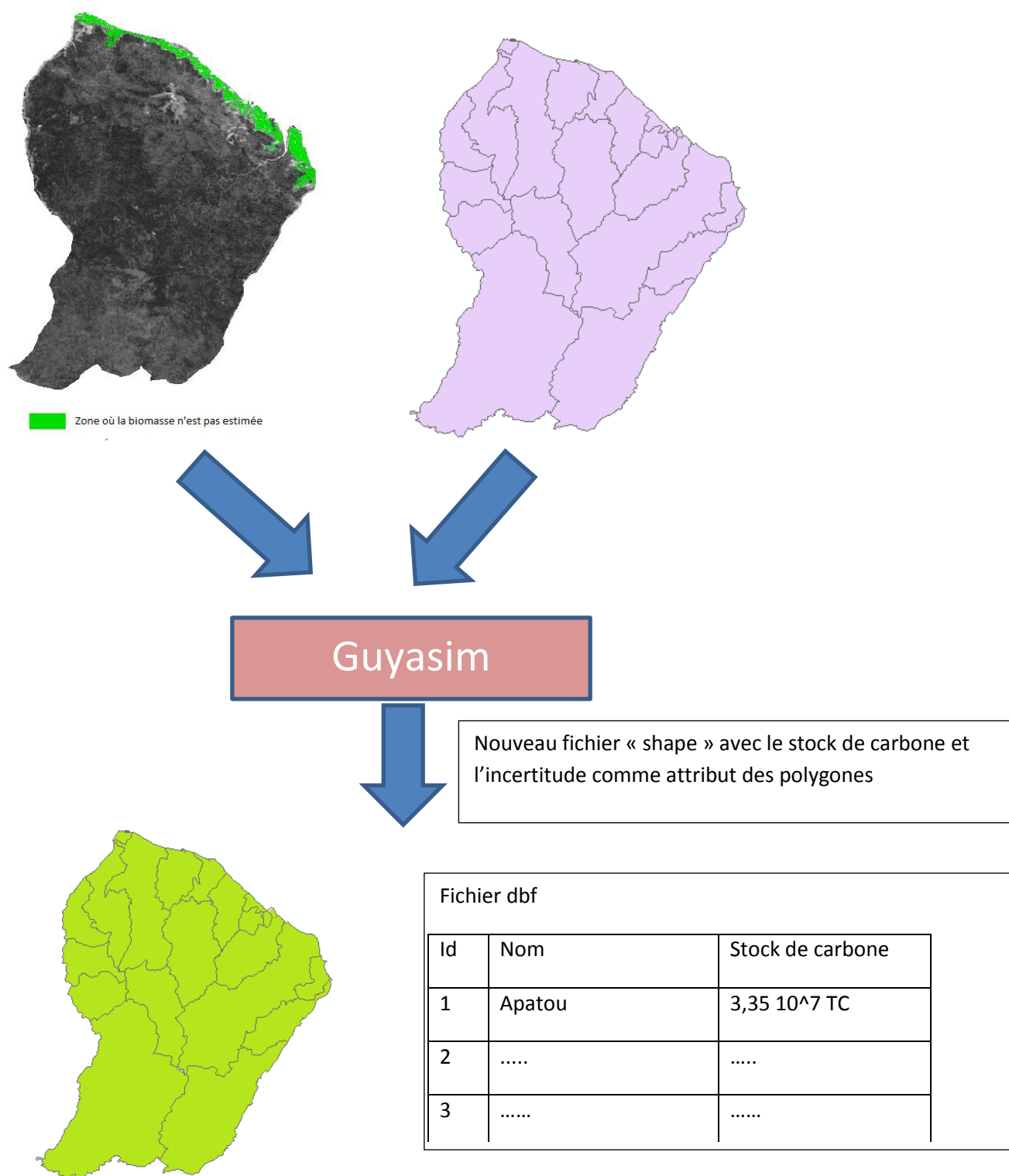
Figure 40-Description schématique de la fonctionnalité



4.2.7 Fonctionnalité « Génération d'un fichier SIG avec des données attributaires»

Cette fonctionnalité permettra de générer un fichier « shape » en croisant les sources de données de carbone et un autre fichier « shape ». La représentation simplifiée de la fonction est ci-dessous.

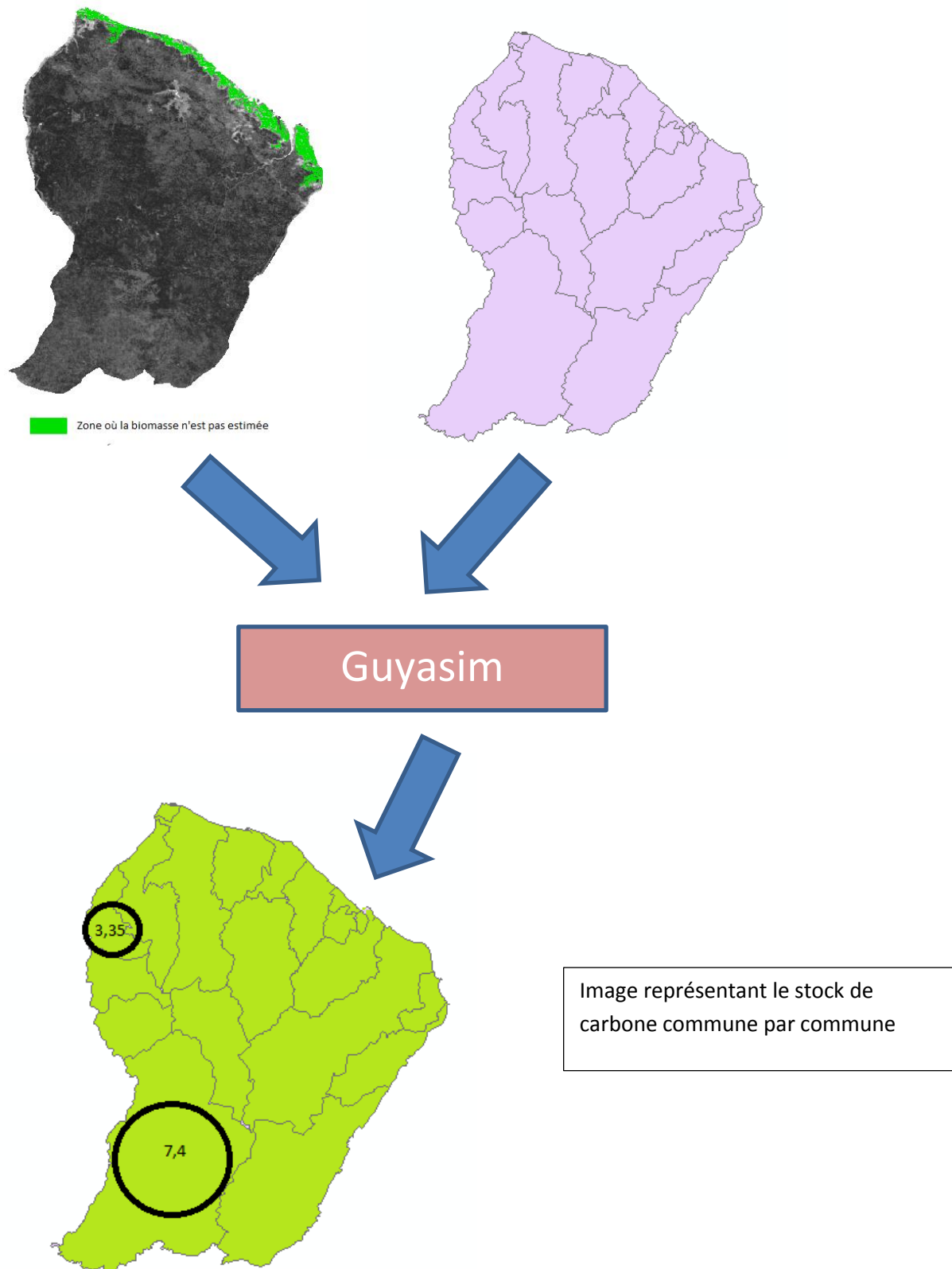
Figure 41-Description schématique de la fonctionnalité



4.2.8 Fonctionnalité « Génération d'une restitution synthétique »

Cette fonctionnalité permettra de mettre en forme le fichier « shape » généré dans la fonctionnalité précédente. La représentation simplifiée de la fonction est ci-dessous.

Figure 42-Description schématique de la fonctionnalité



4.2.9 Fonctionnalité « Indicateur au niveau de la Guyane »

Le logiciel permettra d’avoir une estimation du stock de carbone des arbres en zone forestière pour toute la Guyane de la forme suivante :

Tableau 19-Tableau représentant l'estimation globale du stock de carbone sur toute la Guyane

	Valeur basse	Valeur moyenne	Valeur haute
Biomasse aérienne arbre	35GT	50GT	61GT

4.3 Module « Gestion forestière »

4.3.1 Description générale du module

Ce module permettra à un utilisateur de définir un scénario d’aménagement forestier. Un scénario d’aménagement forestier est une modélisation de l’exploitation des parcelles forestières. Ce module permettra d’évaluer les indicateurs de carbone et de biodiversité sur ces scénarios.

4.3.2 Fonctionnalité « Notion de séries et de massifs »

Le logiciel implémentera les notions de massif et de séries utilisés par l’ONF.

En Guyane, 14 massifs forestiers sont définis, avec des surfaces pouvant osciller de 50.000 à 400.000 hectares. Chaque massif est découpé en parcelles forestières, d’une surface moyenne de 300 hectares, qui constituent l’unité de base de décision et de gestion.

Les parcelles sont aussi regroupées en séries. Une série est un ensemble de parcelles dont la vocation est identique.

Les vocations définies par l’ONF sont les suivantes :

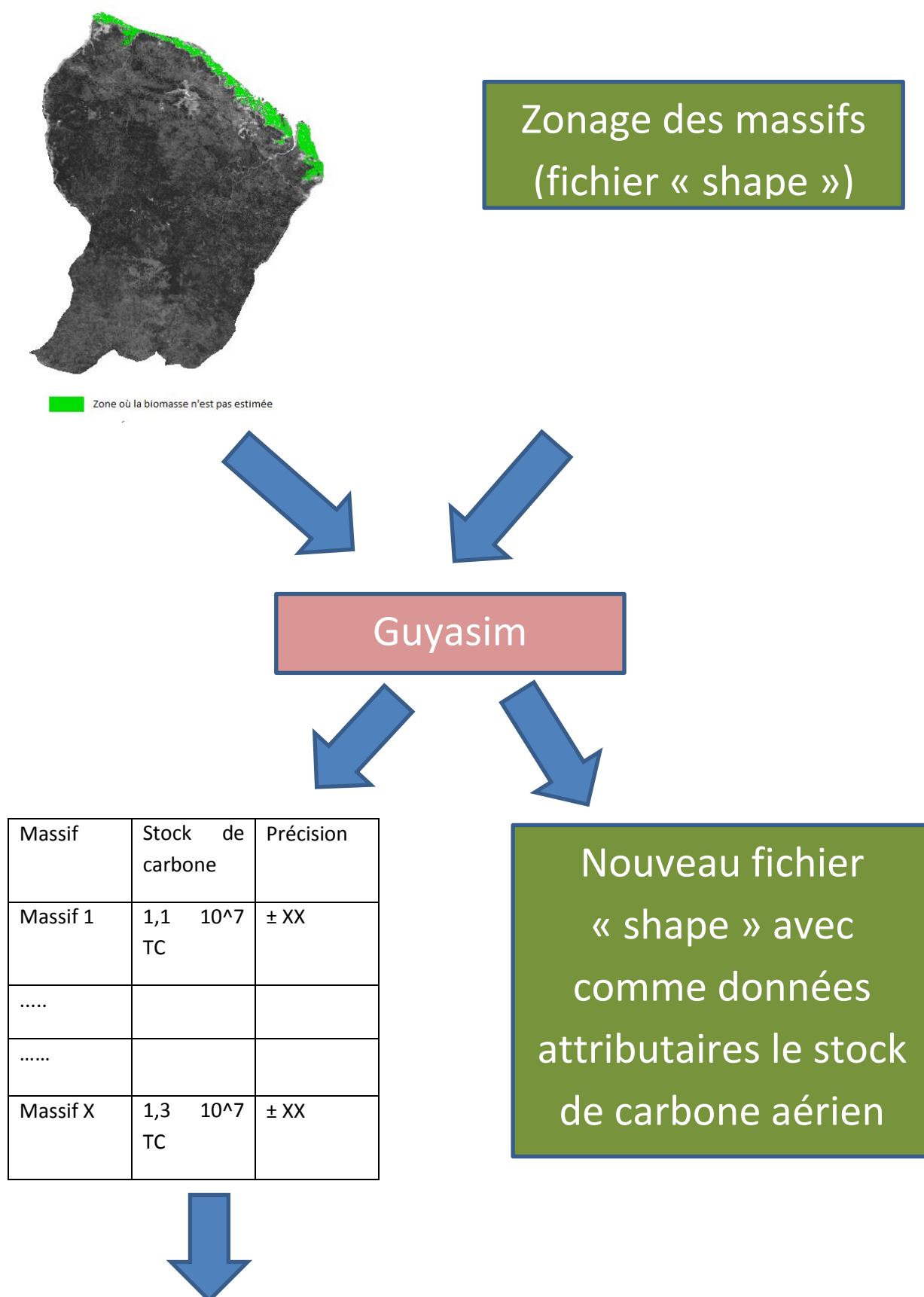
- la série d'intérêt écologique pour la protection de la diversité des habitats forestiers, échantillons représentatifs de la biodiversité et la conservation des milieux et espèces remarquables,
- la série de protection physique et générale des milieux et des paysages sur les têtes de bassins versants, les zones de captage, les berges des principaux fleuves et les fortes pentes,
- la série de production pour la production de bois d'œuvre et d'autres produits forestiers,
- la série d'accueil du public,

- la série d'usage traditionnel pour l'exercice des droits d'usage par les populations tirant traditionnellement leurs moyens de subsistance de la forêt.

4.3.3 Fonctionnalité « Rapport au niveau des séries et des massifs »

Il s'agit de produire des restitutions, par massif ou par série, du stock de carbone des arbres. Ainsi, grâce aux travaux de l'UMR ECOFOG nous pourrons produire un fichier de type « shape » qui représente les massifs ou les séries et dont les données attributaires indiquent le stock de carbone de ces zones. Cette fonctionnalité est illustrée par le schéma suivant.

Figure 43-Description schématique de la fonctionnalité



Fichier CSV

La fonctionnalité est identique pour les séries.

4.3.4 Fonctionnalité « Définition d’un scénario d’aménagement forestier »

Un scénario d’aménagement forestier sera modélisé sous la forme d’un ensemble de zones géographiques (les séries forestières) et des informations associées à l’exploitation de ces séries (en exploitation ou non, date de mise en exploitation et type d’exploitation). L’utilisateur pourra placer des séries en exploitation, modifier le type d’exploitation, la date de mise en exploitation. Ces informations seront utilisées par le logiciel Guyasim pour évaluer les indicateurs.

Pour illustrer ce fonctionnement nous prenons l’exemple suivant :

L’utilisateur importe le fichier « exemple-saint-elie.shp ».

Celui-ci représente le découpage en séries d’une zone géographique. La représentation de ce fichier est la suivante :

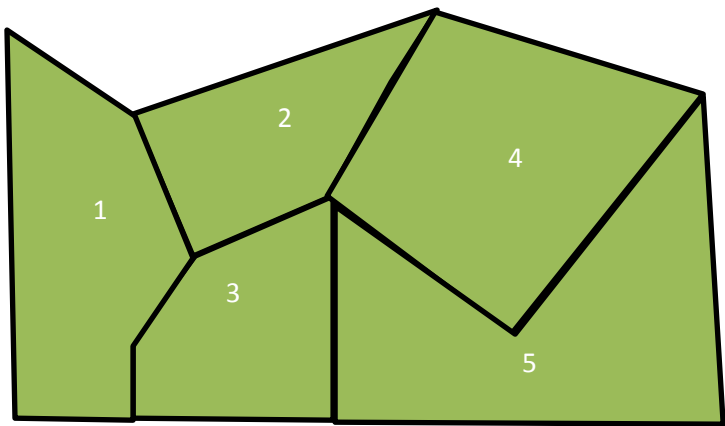


Figure 44- Représentation du fichier « exemple-saint-elie.shp »

Les informations relatives aux séries sont schématiquement représentées de la manière suivante :

Tableau 20-Types des séries du scénario « Saint Elie »

Zones	Types de séries
1	Série d’intérêt écologique

2	Série de production
3	Série de production
4	Série de production
5	Série de production

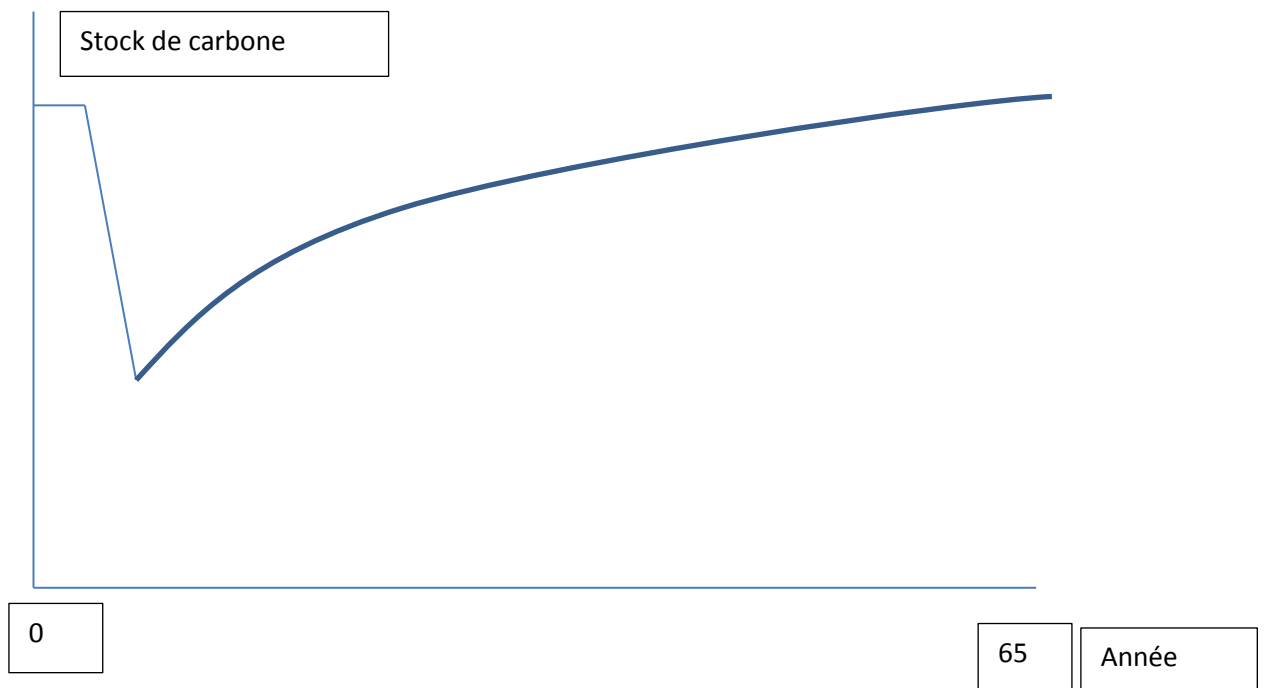
L'utilisateur pourra alors modéliser le scénario d'exploitation forestière suivant « Saint Elie »:

Tableau 21-Tableau représentant le scénario de mise en exploitation

Zones	Date de mise en exploitation	Type d'exploitation
2	2015	Bois d'œuvre
3	2020	Mixte
4	Non exploitée	Non exploitée
5	2035	Bois énergie

4.3.5 Fonctionnalité « Prévion du stock de carbone aérien après exploitation »

Pour un scénario d'exploitation forestière, le logiciel produira une courbe de régénération du stock de carbone des arbres de la forme suivante :



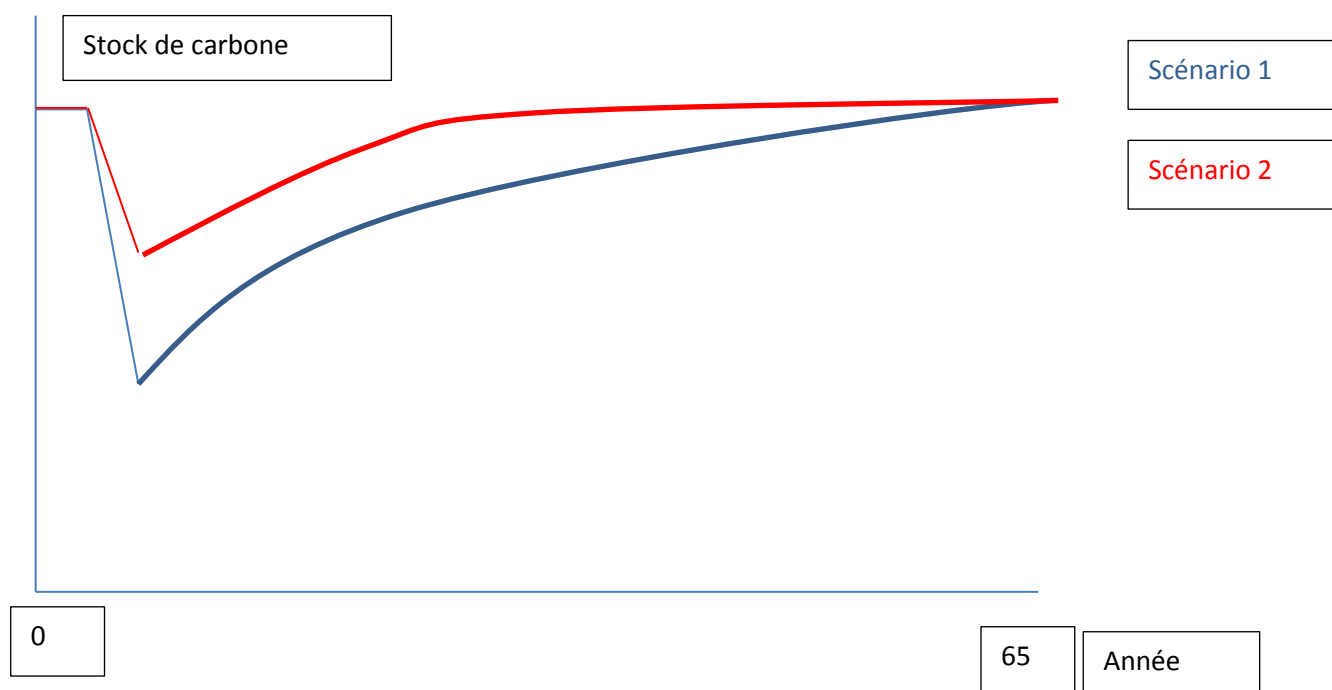
Le stock initial (à t_0) sera déduit de la carte de répartition du stock de carbone produite par l'UMR ECOFOG.

Le prélèvement lié à l'exploitation sera déduit du type d'exploitation et de la surface exploitable des séries.

Enfin la courbe de régénération sera déduite des travaux de l'UMR ECOFOG.

4.3.6 Fonctionnalité « Comparaison de 2 scénarios d'aménagement forestier »

L'utilisateur pourra comparer la régénération du stock de carbone de 2 scénarios d'aménagement forestier. Ainsi en sélectionnant 2 scénarios, il obtiendra le graphique suivant :



4.3.7 Fonctionnalité « Indicateur de biodiversité en gestion forestière »

Le logiciel indiquera si les parcelles exploitées sont situées sur les « hotspots » de biodiversité identifiés lors du projet Guyasim.

4.3.8 Fonctionnalité « Sauvegarde d'un scénario d'aménagement forestier »

Un scénario d'aménagement forestier pourra être sauvegardé. Ce scénario pourra être ouvert ultérieurement pour être modifié.

4.4 Module « Indicateur sur le sol »

Trois indicateurs seront proposés pour le sol. Un indicateur pour la nitrification du sol, un indicateur pour la respiration du sol, un indicateur pour la dénitrification. Dans l'état actuel des connaissances scientifiques, ces 3 indicateurs ne sont pas « synthétisables » pour donner un indicateur unique sur la nature et le fonctionnement du sol.

4.4.1 Fonctionnalité « Cartes des indicateurs du sol »

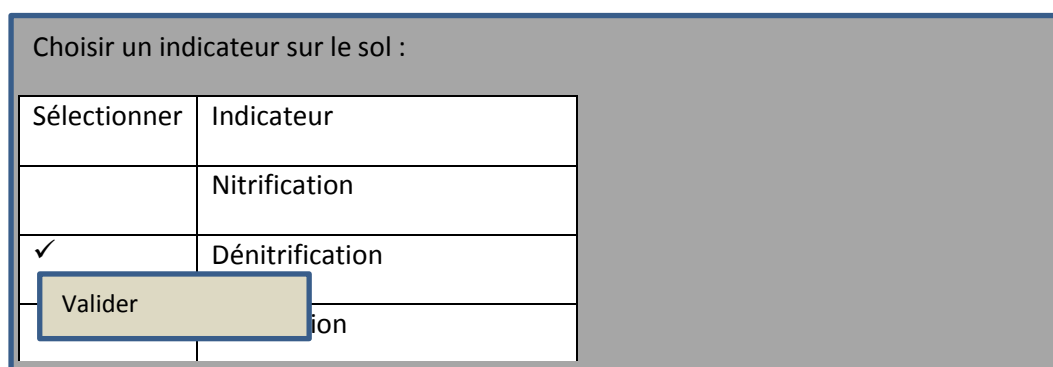
4.4.1.1 Description

Le logiciel permettra de visualiser une carte pour chacun de ces indicateurs. Ces cartes représenteront les zones où la valeur de ces indicateurs est connue.

4.4.1.2 Interface graphique

La fonctionnalité sera accessible par *Menu > Outils Guyasim> Indicateur Sol> Carte*

Cela ouvrira la fenêtre suivante :




Sélectionner	Indicateur
<input type="checkbox"/>	Nitrification
<input checked="" type="checkbox"/>	Dénitrification
<input type="checkbox"/>	ion

Valider

Puis donnera l'écran suivant :

Légende

exemple-sol

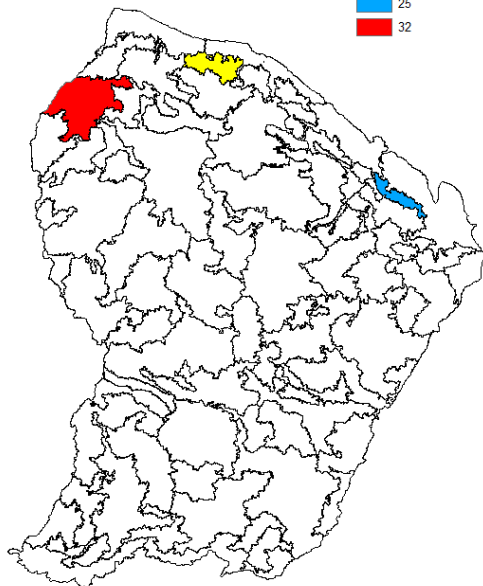
 Pas de données

Emission N20 g.ha-1jour-1

 10

 25

 32



Indicateur sur le sol dénitrification

4.4.2 Fonctionnalité « Bilan d'un aménagement sur le sol »

4.4.2.1 Description

Pour certains types de changements d'occupation des sols d'un scénario d'aménagement, le logiciel pourra fournir les modifications prédites des indicateurs.

Cependant, l'état actuel des connaissances ne permet pas de prédire l'évolution des indicateurs pour tous les aménagements possibles.

4.4.2.1 Interface Graphique

La fonctionnalité sera accessible par *Menu > Outils Guyasim> Indicateur Sol> Bilan Scénario Aménagement*.

Cela ouvrira la fenêtre suivante :

Choisir un indicateur sur le sol :

Liste déroulante des scénarios

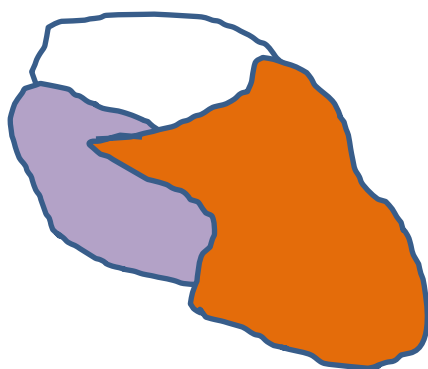
Sélectionner l'indicateur

Sélectionner	Indicateur
	Nitrification
✓	Dénitrification
	Respiration

Valider

Qui donnera la carte suivante :

Estimation des émissions de N₂O
pour le scénario Kourou Est



Pas de données



23 g.ha⁻¹.j⁻¹



10 g.ha⁻¹.j⁻¹

4.5 Module « Indicateur de biodiversité »

4.5.1 Définition de l'indicateur de biodiversité

Le projet Guyasim identifiera des « hotspot » de biodiversité.

Ces zones seront qualifiées de « hotspot » si elles hébergent beaucoup d'espèces (au niveau de la flore), ou si elles forment des milieux spécifiques et rares (au niveau de la flore).

4.5.2 Données utilisées par le logiciel

La partie biodiversité s'appuiera sur diverses sources de données en entrée. Il s'agira principalement de fichiers de données géographiques. Ces sources de données représenteront des zones géographiques de protection (exemple les ZNIEFF) ou de biodiversité (exemple : zones identifiées lors du projet Guyasim).

Liste des sources de données :

Tableau 22-Tableau représentant les différentes sources de données du logiciel

Miniatures	Description
	Séries d'intérêt écologique ONF
	Zones ZNIEFF 2 « Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique ZNIEFF de type 2 »
Etc.	Etc.
	Zones de biodiversité identifiées lors du projet GUYASIM

4.5.3 Fonctionnalité «Evaluation de l'indicateur de biodiversité »

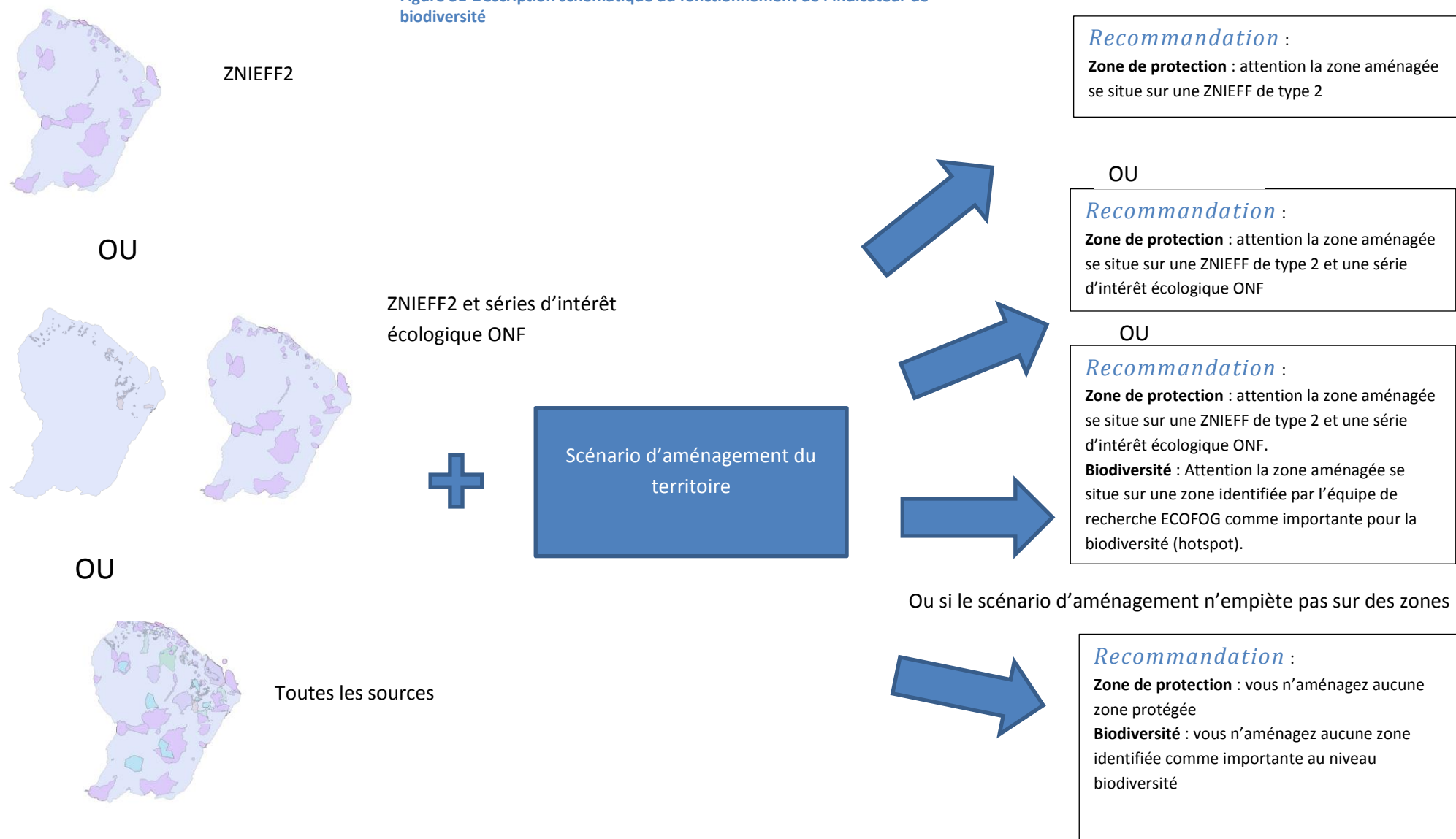
4.5.3.1 Description

Le logiciel permettra de croiser un scénario d'aménagement avec les données listées ci-dessus. L'utilisateur pourra choisir avec quelles données il croise un scénario d'aménagement du territoire. Il

pourra aussi croiser un scénario d'aménagement du territoire avec plusieurs sources de données ou avec toutes les sources de données. Le logiciel Guyasim fournira des recommandations en fonction de l'empiétement éventuel du scénario d'aménagement du territoire sur les zones de biodiversité.

On peut représenter schématiquement le fonctionnement du logiciel de la manière suivante :

Figure 51-Description schématique du fonctionnement de l'indicateur de biodiversité



4.5.3.2 Interface graphique

La fonctionnalité est accessible par *Menu > Outils Guyasim> Indicateur Biodiversité> Evaluer un scénario*

Choisir un scénario d'aménagement du territoire

Lise déroulante des scénarios

Sélectionner les données pour effectuer la prévision

Sélectionner	Données	Date (liste déroulante si plusieurs dates pour une même source de données)
✓	Zone Znieff	2008
	Zone Onf intérêts écologiques	2005
	g	2012
	Toutes les zones	

Valider

Donnera la fenêtre suivante

Nom du Scénario	Aménagement « Kourou Est » option 1
Impact biodiversité	<p>Zone de protection : attention la zone aménagée se situe sur une ZNIEFF de type 2 et une série d'intérêt écologique ONF.</p> <p>Biodiversité : Attention la zone aménagée se situe sur une zone identifiée par l'équipe de recherche ECOFOG comme importante pour la biodiversité (hotspot).</p>

4.5.4 Fonctionnalité « Comparaison de 2 scénarios au niveau de la biodiversité »

4.5.4.1 Description

L'utilisateur pourra comparer l'impact de 2 scénarios d'aménagement.

4.5.4.2 Interface graphique

La fonctionnalité sera accessible via *Menu > Outils Guyasim> Indicateur Biodiversité> Comparaison*

Choisir les scénarios d'aménagement du territoire :

Scénario 1

Scénario 2

Sélectionner les données pour effectuer la prévision

Sélectionner	Données	Date (liste déroulante si plusieurs dates pour une même source de données)
✓	Zone Znieff	2008
	Zone Onf intérêt écologique	2005
	Hotspot Ecofog	2012
<input type="button" value="Comparer"/>	les zones	

Donnera la fenêtre suivante :

Comparaison de 2 scénarios :		
Nom du Scénario	Aménagement « Kourou Ouest-option 1 »	Aménagement « Kourou Ouest-option 2 »
Impact biodiversité	Zone de protection : attention la zone aménagée se situe sur une ZNIEFF de type 2 et une série d'intérêt écologique ONF. Biodiversité : Attention la zone aménagée se situe sur une zone identifiée par l'équipe de recherche ECOFOG comme importante pour la biodiversité (hotspot).	Zone de protection : attention la zone aménagée se situe sur une ZNIEFF de type 2 et une série d'intérêt écologique ONF. Biodiversité : vous n'aménagez aucune zone identifiée comme importante au niveau biodiversité

4.5.5 Fonctionnalité « Distinguer les zones géographiques d'intérêt écologique des autres zones géographiques »

Pour permettre de distinguer les zones géographiques d'intérêt écologique des autres zones géographiques, le logiciel permettra d'accéder à une carte qui affiche l'ensemble des zones recensées par le projet Guyasim pour des zones d'intérêt écologique.

4.6 Module « Scénario de développement de la Guyane »

4.6.1 Description des scénarios de développement.

Les scénarios de développement seront de la forme suivante :

- un nom (développement important, développement faible ou développement médian),
- un ensemble d'hypothèses qui définit le scénario,
- 2 cartes, une carte de l'occupation initiale, une carte de l'occupation des sols en 2032.

L'horizon de ces prévisions est 2032 car au-delà de ce pas de temps aucune information n'est disponible dans les plans d'urbanisme.

Plusieurs hypothèses caractériseront un scénario comme par exemple :

- croissance démographique de X%,
- croissance économique de X%.

La typologie de l'occupation des sols n'est pas encore totalement arrêtée mais se rapprochera de la suivante :

- urbain,
- agricole,
- voie de communication,
- forêt,
- marécage,
- exploitation minière,
- lac/cours d'eau,
- savane.

4.6.2 Fonctionnalité « Visualiser les scénarios »

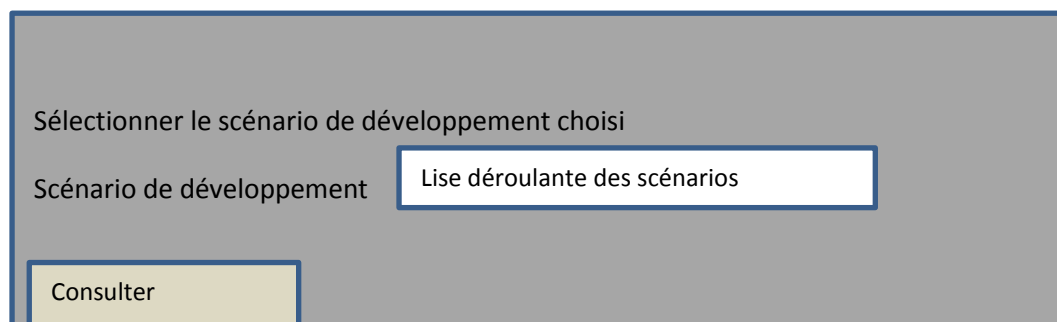
4.6.2.1 Description

Cette fonctionnalité permettra de visualiser la carte en 2032 du scénario de développement et de visualiser les hypothèses associées au scénario.

4.6.2.2 Interface Graphique

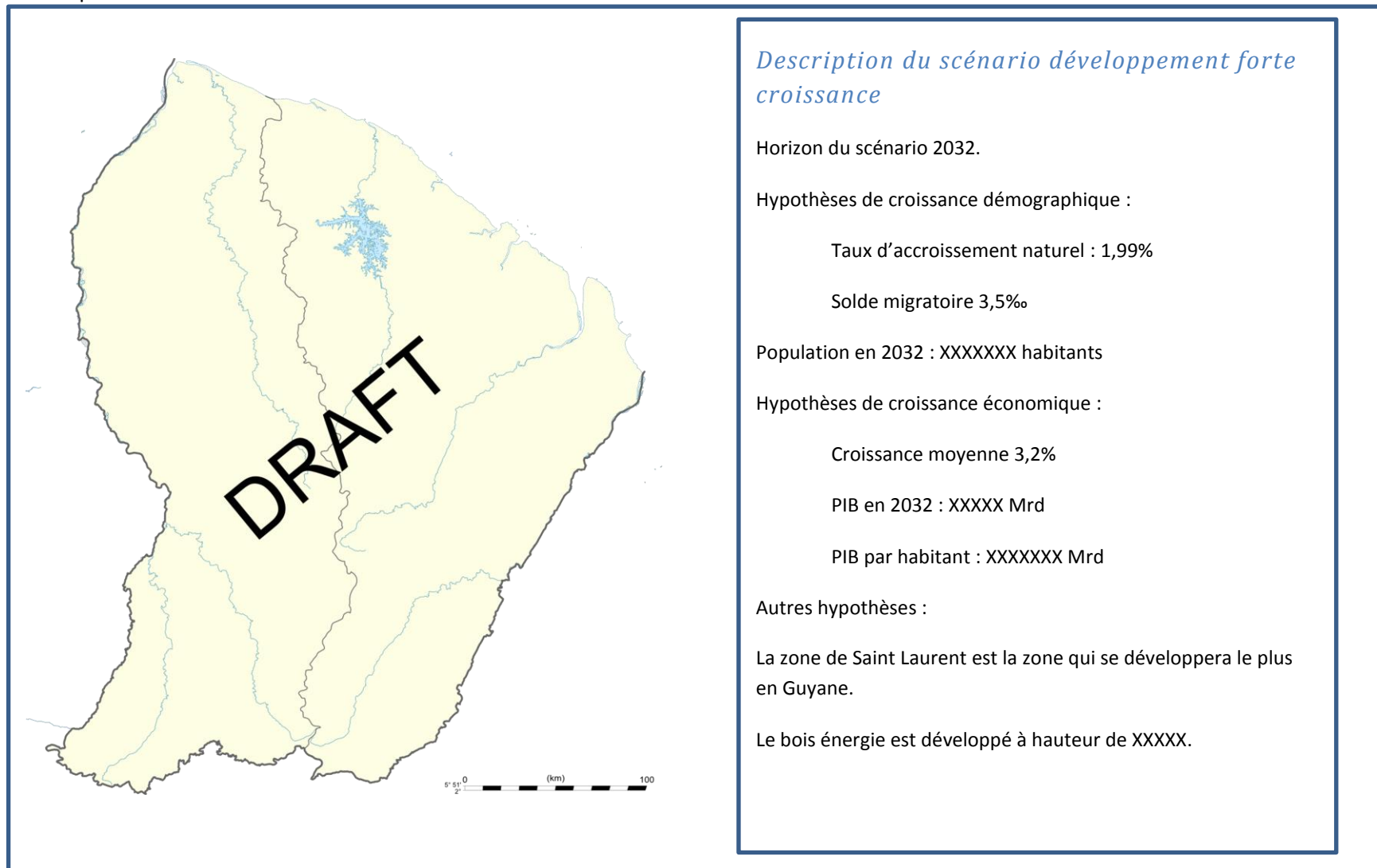
La fonctionnalité sera accessible via *Menu > Outils Guyasim> Scénario de développement > Consulter*

Cela ouvrira la fenêtre suivante :

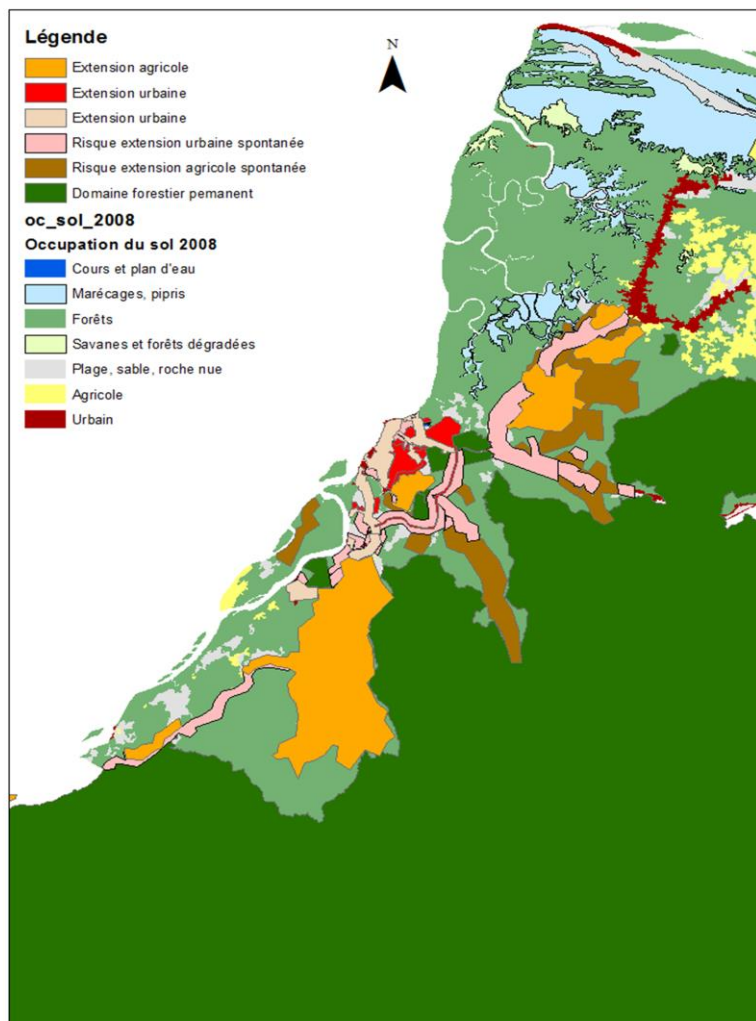


The screenshot shows a window with a grey background. At the top, the text "Sélectionner le scénario de développement choisi" is displayed. Below this, the label "Scénario de développement" is positioned to the left of a white dropdown menu box containing the text "Lise déroulante des scénarios". At the bottom left of the window is a yellow button with the text "Consulter".

Qui permettra de visualiser l'écran suivant :



En zoomant nous pourrions obtenir une carte du type suivant (exemple avec la zone de saint Laurent du Maroni)



Description du scénario développement forte croissance

Horizon du scénario 2032.

Hypothèses de croissance démographique :

Taux d'accroissement naturel : 1,99%

Solde migratoire 3,5%

Population en 2032 : XXXXXXXX habitants

Hypothèses de croissance économique :

Croissance moyenne 3,2%

PIB en 2032 : XXXXX Mrd

PIB par habitant : XXXXXXXX Mrd

Autres hypothèses :

La zone de Saint Laurent est la zone qui se développera le plus en Guyane.

Le bois énergie est développé à hauteur de XXXXX.

4.6.3 Fonctionnalité « Indicateur sur les scénarios de développement »

4.6.3.1 Description

Il s'agit de s'appuyer sur les scénarios de développement pour prévoir l'évolution des indicateurs.

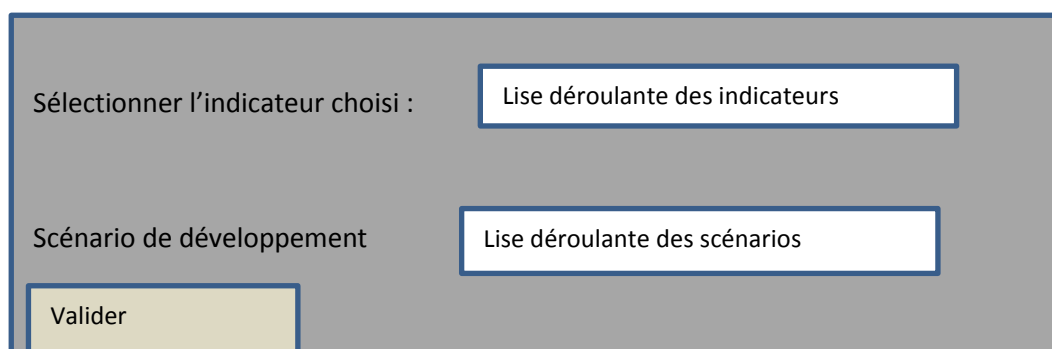
Pour l'indicateur de carbone, il s'agira de visualiser l'évolution en fonction des scénarios choisis.

Pour l'indicateur de biodiversité, il s'agira de mettre en évidence les zones identifiées comme importantes pour la biodiversité ou les zones protégées qui seront menacées par le scénario de développement envisagé.

4.6.3.2 Interface graphique

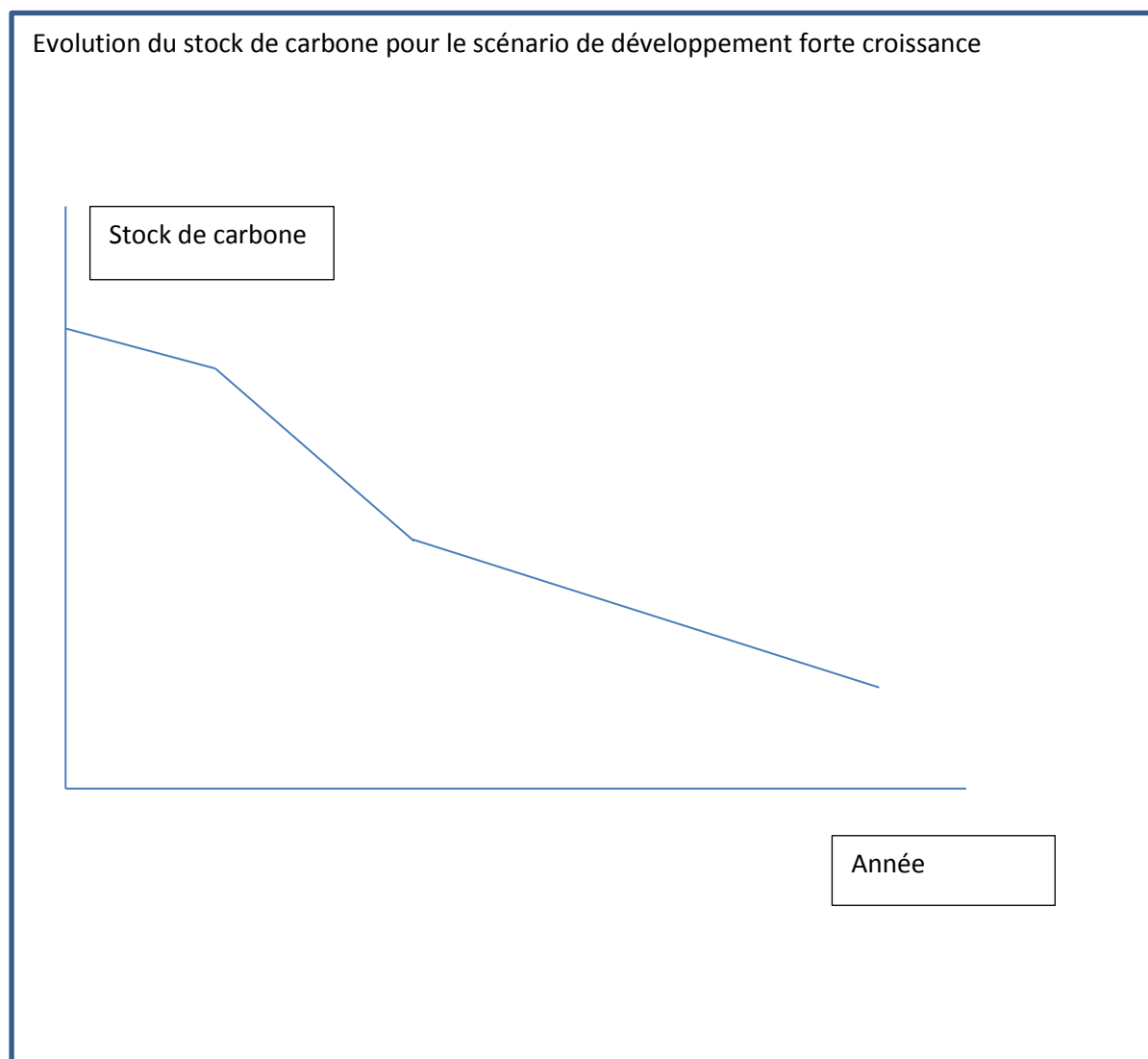
La fonctionnalité sera accessible via *Menu > Outils Guyasim> Scénario de développement > Indicateur*

Cela ouvrira la fenêtre suivante :



The image shows a software window with a grey background and a blue border. It contains three main elements: a label 'Sélectionner l'indicateur choisi :' followed by a white dropdown menu with the text 'Lise déroulante des indicateurs'; a label 'Scénario de développement' followed by a white dropdown menu with the text 'Lise déroulante des scénarios'; and a yellow button with the text 'Valider' located at the bottom left.

Ce qui donnera pour le stock de carbone l'écran suivant :



Et pour la biodiversité l'écran suivant :

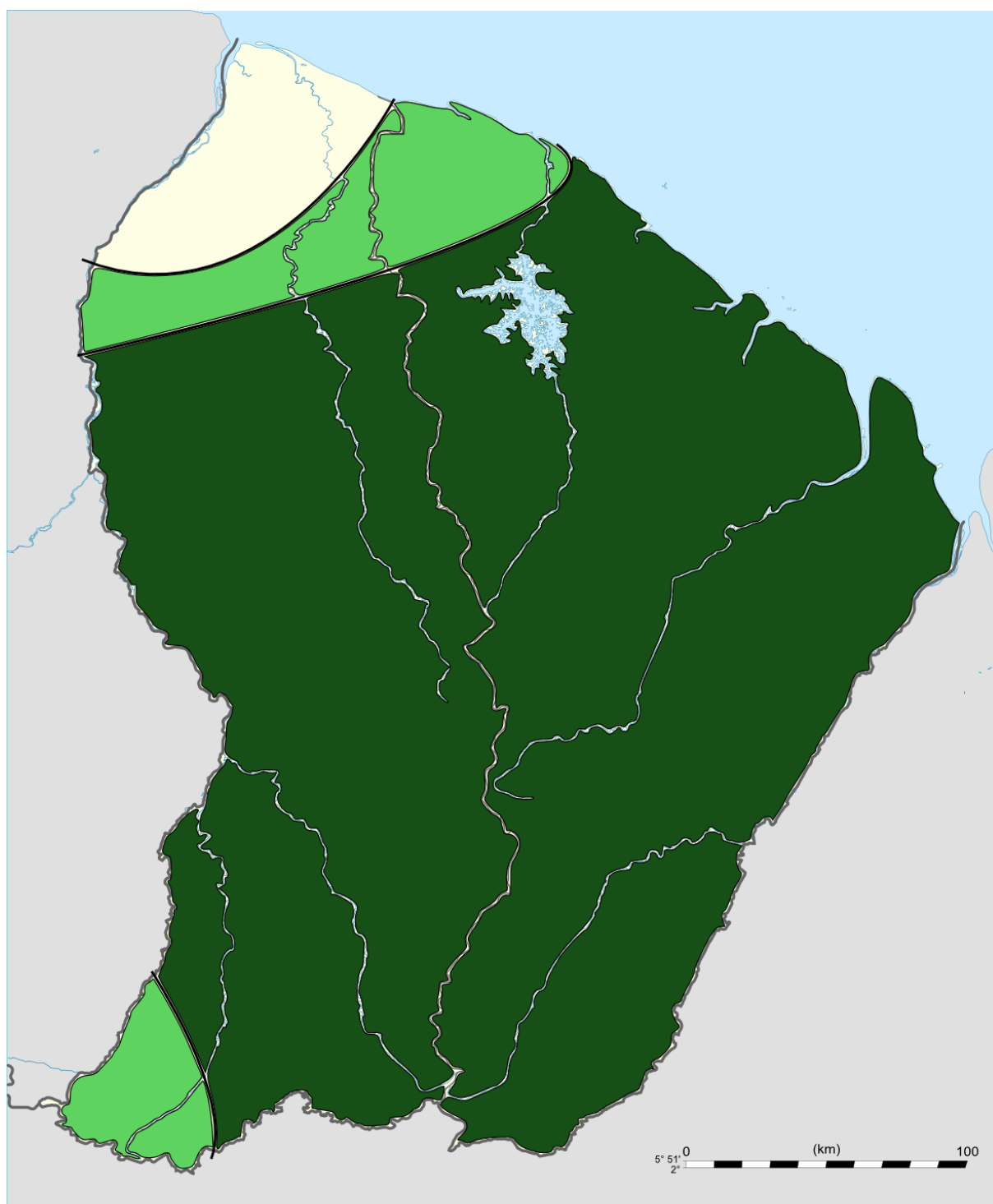


4.7 Module « Prédiction de l'évolution des habitats selon différents scénarios de changements climatiques »

4.7.1 Fonctionnalité « Visualisation des effets du réchauffement climatique sur la Guyane »

4.7.1.1 Description

Le logiciel permettra de consulter des cartes de prédictions d'évolution de la forêt Guyanaise pour les différents scénarios de changement climatique. Les scénarios de changement climatique sont les scénarios de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Les scénarios sont les suivants : B1, A1T, B2, A1B, A2, A1FI. Pour les scénarios dont les données sont disponibles pour la région Guyane. Une carte sera produite qui a minima sera du type suivant :



- Zone de forêt stable
- Zone faiblement menacée
- Zone fortement menacée

Figure 62-Carte de prédiction de l'évolution de la forêt

Des cartes sous la forme de dégradé sont aussi envisagées. Elles seront de la forme suivante :

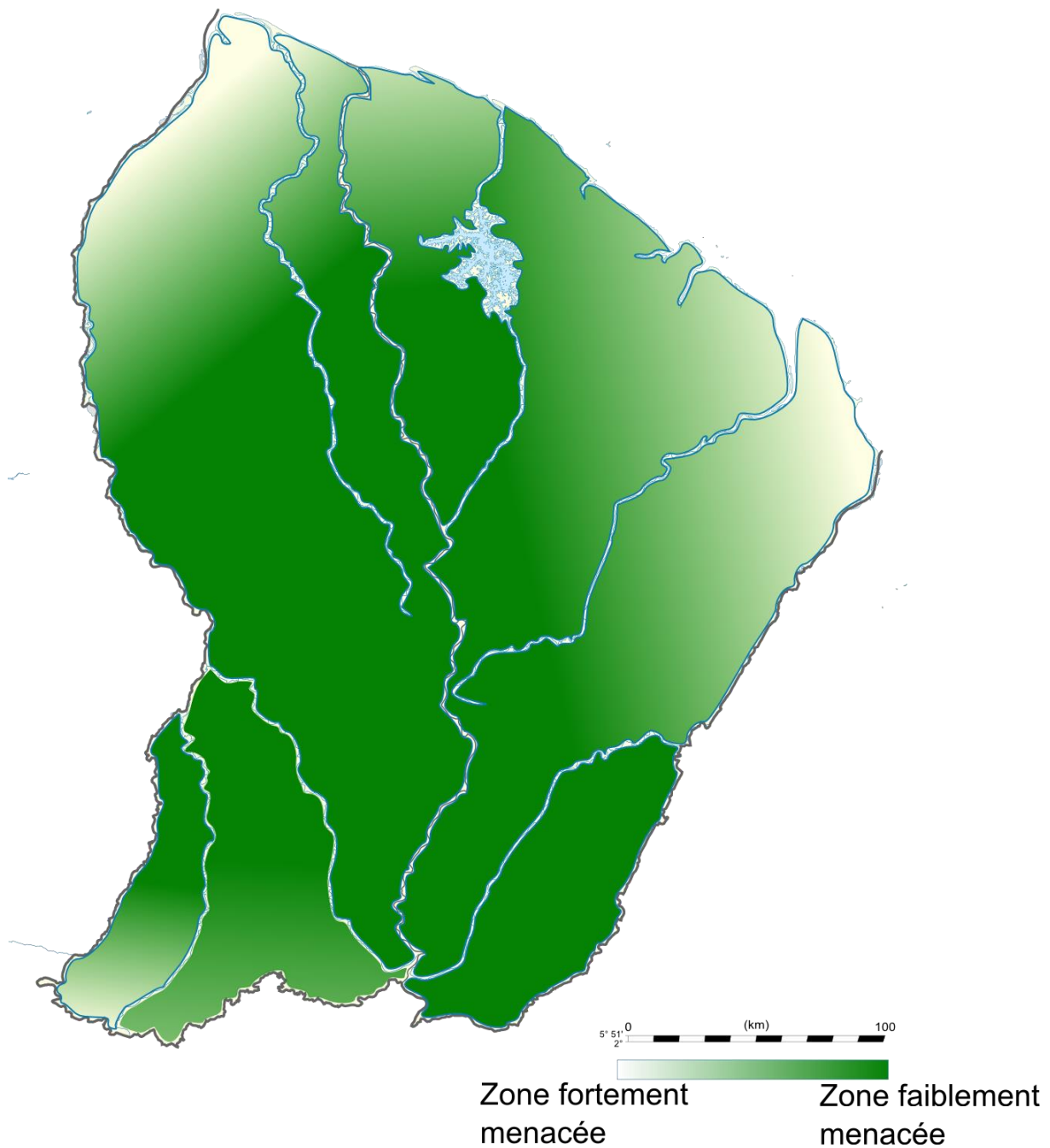


Figure 63-Carte de prédiction de l'évolution de la forêt en mode dégradé

Des explications relatives aux scénarios de l'IPCC seront aussi disponibles pour permettre aux utilisateurs de comprendre la signification des scénarios.

Les scénarios « RCP » sont les scénarios « nouvelle génération » de réchauffement climatique définis par l'IPCC. Si les données sont disponibles pour ces scénarios, nous les présenterons aussi dans le logiciel.

Dans la mesure du possible, des analyses seront fournies, comme le pourcentage du territoire guyanais menacé.

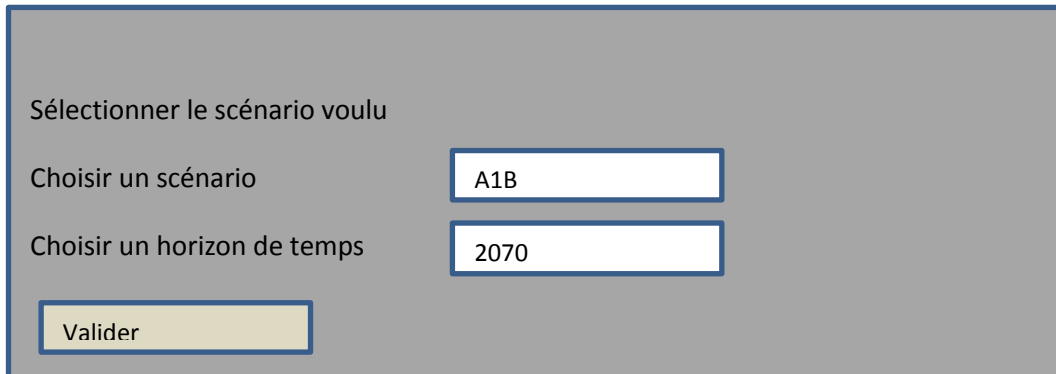
Les cartes seront exportables au format « shape » pour les cartes de la forme de la Figure 62 et dans un format raster pour les cartes de la forme de la Figure 63.

4.7.1.2 Interface graphique

La fonctionnalité sera accessible via

Menu > Outils Guyasim> Scénario réchauffement climatique

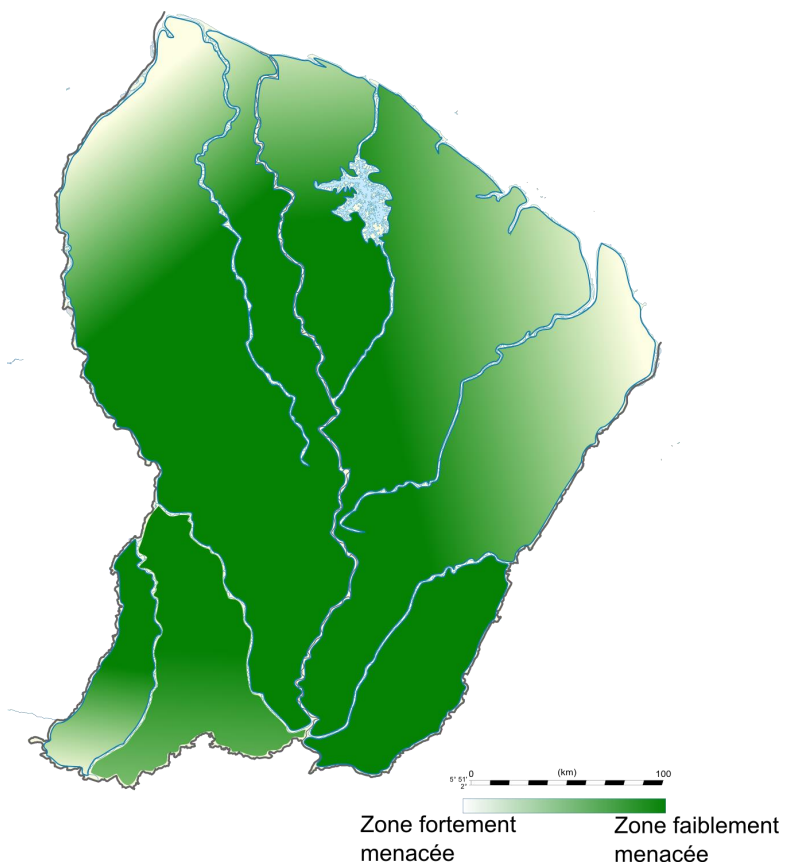
Qui ouvrira une boîte de dialogue comme ci-dessous :



The dialog box has a grey background and a blue border. It contains the following elements:

- Text: "Sélectionner le scénario voulu"
- Text: "Choisir un scénario" followed by a text input field containing "A1B".
- Text: "Choisir un horizon de temps" followed by a text input field containing "2070".
- A "Valider" button with a yellow background and a blue border.

Une fois les options définies l'écran suivant apparaîtra



Description du scénario A1b

Le canevas et la famille de scénarios A1 décrivent un monde futur dans lequel la croissance économique sera très rapide, la population mondiale atteindra un maximum au milieu du siècle

Groupe de scénarios		A1B
	1990	
Population (en milliards)	5,3	
2020		7,5 (7,2-7,6)
2050		8,7 (8,3-8,7)
2100		7,1 (7,0-7,7)
PIB mondial	21	
2020		56 (48-61)
2050		181 (120-181)
2100		529 (340-536)
Coefficient de revenu par habitant : pays développés et économies en transition par rapport aux pays en développement	16,1	
2020		6,4 (5,2-9,2)
2050		2,8 (2,4-4,0)
2100		1,6 (1,5-1,7)

4.8 Module « Divers »

4.8.1 Fonctionnalité « Hypothèses scientifiques »

4.8.1.1 Description

Il s'agit de permettre aux utilisateurs d'accéder aux différentes hypothèses scientifiques qui sous-tendent la logique du logiciel.

4.8.1.2 Interface graphique

La fonctionnalité sera accessible via *Menu > Outils Guyasim> Aide > Hypothèses scientifiques*.

Elle donnera accès à la fenêtre suivante.

Hypothèses scientifiques utilisées par le logiciel Guyasim :

Calcul du stock de carbone :

Les méthodes de calcul du stock de carbone sont les suivantes.

.....

.....

Scénario de développement de la Guyane

Les scénarios ont été établis avec les hypothèses suivantes :

...

...

Scénario de réchauffement climatique

Description des scénarios de réchauffement climatique

.....

....

.....

Biodiversité

Evaluation des hotspots

....

4.8.2 Fonctionnalité « Indiquer où les zones les données sont existantes et indiquer les zones où les données ne sont pas connues »

Pour répondre à cette demande, une page sera accessible dans le logiciel pour expliciter quelles données nous avons utilisé et quelles sont leurs caractéristiques. De plus nous produirons dans la mesure du possible des cartes explicatives pour permettre à l'utilisateur de visualiser l'origine des données.

4.8.3 Fonctionnalité « Avertissement »

Il s'agit d'informer l'utilisateur que les fonctionnalités du logiciel sont basées sur des travaux scientifiques mais que le territoire Guyanais et le milieu forestier sont des milieux relativement peu connus et que par conséquent le projet Guyasim ne peut fournir que des estimations. Ce manque de connaissances est donc à prendre en compte lors de l'utilisation des estimations faites dans le logiciel. Des avertissements seront donc positionnés dans ce sens dans le logiciel.

4.9 Module « Gestion des données »

4.9.1 Fonctionnalité « Mise à jour des données »

4.9.1.1 Description

Il s'agit de pouvoir mettre à jour les données utilisées par le logiciel pour le calcul des indicateurs. Ces données sont par exemple :

- les données concernant les séries de l'ONF,
- parcellaire des zones ZNIEFF,
- etc.

4.9.1.2 Interface graphique

La fonctionnalité sera accessible via

Menu > Outils Guyasim> Mise à jour des données

Qui ouvrira une boîte de dialogue comme ci-dessous :

Sélectionner les données à mettre à jour			
Sélectionner	Données	Date	Utilisations
	Inventaire Forestier	2008	Indicateur carbone
	Stock de carbone	2012	Indicateur carbone
✓	Zone Znieff	2008	Indicateur biodiversité
	Parcellaire commune Guyane	2005	Indicateur carbone, indicateur biodiversité

Valider

Qui donnera la fenêtre suivante

Mise à jour des données « Zone Znieff »

Fichier

Année

Valider

Une étape de validation sera effectuée

En cas d'échec cela donnera

L'importation des données a rencontré des problèmes

Voir le problème

Annuler

En cas de réussite :

Données sources :

Données	Date	Utilisations
Inventaire Forestier	2008	Indicateur carbone
Stock de carbone	2012	Indicateur carbone
Zone Znieff	2008	Indicateur biodiversité
Zone Znieff	2012	Indicateur biodiversité
Données de la Guyane	2005	Indicateur carbone,

Valider

4.9.2 Fonctionnalité « Exporter les résultats ou données du logiciel »

L'utilisateur pourra exporter les données utilisées par le logiciel (exemple : la carte de prévision du stock de carbone). L'utilisateur pourra aussi exporter les résultats produits par le logiciel (exemple : prédiction par commune du stock de carbone). Les types d'exportation suivants sont envisagés (en fonction de la nature des données) :

- Exporter les résultats au format PDF,
- Exporter les résultats en fichier « shape » (en fixant des données attributaires si possible), pour permettre de lire ce fichier dans Arcgis/Arcview ou encore Mapinfo. (exemple pour l'indicateur carbone),
- Exporter les résultats en fichier raster,
- Exporter les résultats en fichier CSV.

5 Fonctionnalités optionnelles

Les fonctionnalités listées dans cette partie du document sont des fonctionnalités qui seront incorporées dans le logiciel si le planning et/ou les résultats des travaux scientifiques le permettent.

5.1 Fonctionnalité « Consultations des états intermédiaires des scénarios de développement »

Les scénarios de développement sont représentés sous la forme de carte. Une carte représentant 2012 et une carte représentant 2032. Un ensemble d'hypothèses est associé à ce scénario. Cette fonctionnalité permettra de consulter les différents états intermédiaires de ce scénario sous la forme de carte.

5.2 Fonctionnalité « Comparer les données relatives au stock de carbone dans le temps »

Cette fonctionnalité souhaitée par l'ADEME sera implémentée optionnellement. Il s'agit de pouvoir comparer les sources de données relatives au stock de carbone dans le temps.

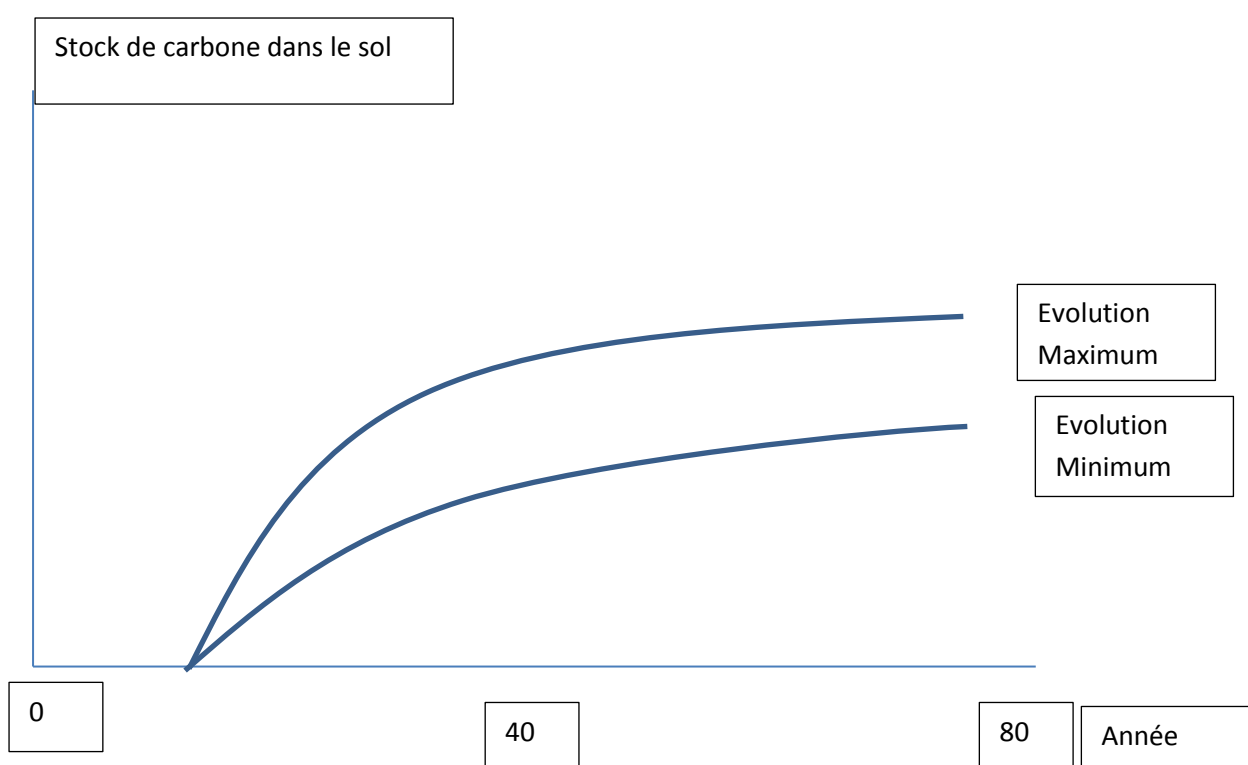
Deux difficultés pour réaliser ce point :

- Nous ne sommes pas sûrs que les futurs travaux de recherche génèrent des données sur le stock de carbone du même type que les données actuellement utilisées. Cette incertitude rend difficile la programmation, dès maintenant, d'un logiciel pour comparer ces ensembles de données,
- Il n'est actuellement pas prévu dans le projet de générer une carte du stock de carbone en 2014, 2016, etc.

Pour ces raisons cette fonctionnalité sera optionnelle.

5.3 Fonctionnalité « Evaluation du stock de carbone du sol des prairies »

Des travaux de recherche de l'UMR ECOFOG portent sur les prairies issues de la déforestation. La Guyane compte environ 10 000 hectares de prairie. Pour incorporer ces travaux au sein du logiciel Guyasim, nous envisageons de permettre à l'utilisateur de visualiser l'évolution du stock de carbone du sol dans une prairie issue de la déforestation. Ainsi, pour une zone de forêt qui est transformée en zone de prairie, nous proposerons la courbe suivante qui représente l'évolution du stock du carbone du sol en fonction du temps pour la zone transformée.



Nous proposerons une autre fonctionnalité. Celle-ci permettra de visualiser le stock de carbone du sol pour une parcelle.

Ainsi pour une parcelle sélectionnée, nous proposerons l'évaluation suivante :

Sélectionner les données à mettre à jour

Parcelle	Age	Stock de carbone du sol maximum(TC)	Stock du carbone du sol minimum (TC)
156	36	134	116

Cependant cette fonctionnalité sera disponible pour un nombre réduit de parcelles. En effet, l'âge des parcelles de paires n'est connu que pour un nombre réduit de parcelles en Guyane.

5.4 Fonctionnalité « Prévoir en termes d'installations informelles les conséquences de la création d'une route »

Cette fonctionnalité est optionnelle, en effet, les dynamiques des installations informelles suite à la création de route sont très mal connues et par conséquent difficilement modélisables informatiquement. La solution envisagée est de créer un modèle très simple dont le but n'est pas de simuler avec exactitude le phénomène des installations informelles mais de mettre en évidence le fait qu'elles existent.

5.5 Fonctionnalité « Evaluer le stock de carbone du sol de toute la Guyane »

Les inconnues qui portent sur le stockage du carbone dans le sol sont encore nombreuses d'un point de vue scientifique. Par conséquent, une estimation pourra éventuellement être produite par le logiciel mais celle-ci comportera de très grandes incertitudes.

5.6 Fonctionnalité « Effectuer des comparaisons entre années »

Nous mettrons en place cette fonctionnalité en fonction des retours des partenaires et scientifiques lors des premières utilisations.

6 Fonctionnalités souhaitées qui ne seront pas implémentées

6.1 Fonctionnalité « Prédire l'évolution de l'indice de biodiversité »

Fonction souhaitée par l'ONF.

L'indicateur retenu par le projet ne permettra pas de calculer une évolution.

6.2 Fonctionnalité « Prédire l'évolution de l'indice de biodiversité suite à la création d'une route/piste »

Fonction souhaitée par la DAAF.

L'indicateur retenu par le projet ne permettra pas de calculer une évolution.

6.3 Fonctionnalité « Evaluer et suivre les indicateurs définis dans les SCOT »

Fonction souhaitée par la CACL.

Un certain nombre d'indicateurs sont utilisés pour suivre le SCOT de la CACL. La CACL a émis le souhait de pouvoir suivre ces indicateurs grâce au logiciel Guyasim. Cela sera possible uniquement pour les indicateurs définis dans ce cahier des charges.

6.4 Fonctionnalité « Déterminer, à partir des indicateurs, les zones d'installation optimales pour les agriculteurs »

Fonction souhaitée par la Région Guyane

Nous ne sommes pas en mesure, avec les indicateurs actuels, de déterminer les zones d'installations optimales pour les agriculteurs. Par contre, le logiciel permettra de comparer 2 projets d'aménagement du territoire et donnera des informations pour pouvoir effectuer un choix entre ces 2 scénarios.

6.5 Fonctionnalité « Exprimer les pertes de stock de carbone en équivalent gaz à effet de serre »

Les connaissances actuelles ne permettent pas de remplir cette fonctionnalité.

7 Conditions techniques

7.1 Socle technique

Le logiciel sera développé en JAVA avec les fonctionnalités du logiciel « Udig ».

7.2 Système d'exploitation

Le logiciel sera testé sur Windows 7 et Windows XP.

7.3 Langues

Le français et l'anglais seront les langues qui pourront être utilisées dans le logiciel.

8 Divers

8.1 Intégration des modèles dans l'environnement technique de la plateforme régionale SIG

Pour répondre à cette demande de la région, l'équipe du projet Guyasim propose d'organiser 2 réunions en fin de projet (1^{er} semestre 2013). Le but de ces réunions sera d'étudier quels modèles et données la plateforme régionale SIG de Guyane pourra reprendre.

9 Annexes

9.1 Lexique

ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
CACL	Communauté d'agglomération du Centre Littoral
DAAF	Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
Fichier « shape »	Le shapefile , "fichier de formes" ou fichier « shape » est un format de fichier issu du monde des Systèmes d'Informations Géographiques (ou SIG). Initialement développé par ESRI pour ses logiciels commerciaux, ce format est désormais

	devenu un standard <i>de facto</i> , et largement utilisé par un grand nombre de logiciels libre
GIEC	Le GIEC a pour mission d'évaluer, les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique qui sont nécessaires pour comprendre les fondements scientifiques des risques liés au changement climatique d'origine humaine, de cerner les conséquences possibles de ce changement et d'envisager d'éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation.
« hotspots » de biodiversité	Zones géographiques à enjeux pour la biodiversité
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change nom anglais du GIEC.
ONF	Office National des Forêts
Scénarios « RCP »	Nouvelle classification de scénario dit « représentatif d'évolution de concentration »
Scénario d'aménagement	Modélisation d'une opération d'aménagement du territoire
Scénario de développement de la Guyane	Il s'agit d'une projection de l'occupation du sol de la Guyane vers 2030
SCOT	Schéma de cohérence territoriale
Transition	Changement d'occupation du sol d'une parcelle
SIG	Un système d'information géographique (SIG) est un système d'information permettant d'organiser et de présenter des données spatialement référencées, ainsi que de produire des plans et des cartes.

Projet GUYASIM

Bilan de l'Activité 2 :

Scénarios socio-économiques et dynamiques territoriales de la Guyane



Octobre 2011 – Octobre 2012

Sommaire

Table des illustrations	158
-------------------------	-----

Cartes.....	158
Figures	158
Tableaux	158

Introduction	160
--------------	-----

Contexte et objectifs	160
-----------------------------	-----

Plan de l'étude.....	160
----------------------	-----

1.	Caractérisation de l'occupation du sol et des dynamiques actuelles du territoire guyanais	162
1.1.	Occupation du sol actuelle	162
1.2.	Dynamiques du territoire	165
2.	Elaboration de scénarios socio-économiques	174
2.1.	La croissance démographique, principal facteur de développement.....	174
2.2.	Trois scénarios de développement socio-économique.....	175
3.	Spatialisation des résultats : élaboration des cartes d'occupation des sols à échéance 2032	180
3.1.	Traduction des hypothèses démographiques en termes de surfaces urbaines	180
3.2.	Evaluation des surfaces de développement agricole.....	184
3.3.	Spatialisation des prévisions : méthodologie et résultats.....	186
4.	Bilan de l'étude : 3 cartes d'occupation des sols à échéance 2032	190
4.1.	Présentation des résultats.....	190
4.2.	Discussion	194

Bibliographie	194
---------------	-----

ANNEXES	196
---------	-----

Table des illustrations

Cartes

Carte 1 – Différents régimes de gestion des forêts de Guyane (ONF)	162
Carte 2 – Occupation des sols 2008 sur la zone littorale (ONF)	163
Carte 3 – Occupation des sols 2008 – carte de référence	164
Carte 4 – Besoins en logements sur le pôle de Cayenne (SCOT CACL).....	167
Carte 5 – Répartition géographique de la population de la CCOG (INSEE - 2009)	168
Carte 6 – Extension des aires urbaines et agricoles sur la commune de Saint-Laurent-du-Maroni (2001-2009)	169
Carte 7 – Construction des zones d’extension urbaines spontanées sur la commune de Saint-Laurent-du-Maroni – hypothèse de croissance moyenne	187
Carte 8 - Construction des zones d’extension agricole sur la commune de Saint-Laurent-du-Maroni – hypothèse de croissance moyenne	188
Carte 9 – Occupation des sols 2032 sur la zone de Saint-Laurent-du-Maroni – Hypothèse de croissance haute	190
Carte 10 - Occupation des sols 2032 sur la zone de Saint-Laurent-du-Maroni – Hypothèse de croissance moyenne	191
Carte 11 - Occupation des sols 2032 sur la zone de Saint-Laurent-du-Maroni – Hypothèse de croissance basse	193

Figures

Figure 1 – Prévisions de l’évolution des besoins annuels en logements sur les communes de la CACL (SCOT CACL).....	166
Figure 2 – Composantes du taux de variation de la population sur le territoire de la CCOG (INSEE). 168	
Figure 3 – Composantes du taux de variation de la population guyanaise (INSEE).....	168
Figure 4 – Pyramide des âges en Guyane (INSEE)	172
Figure 5 – Evolution démographique sur 9 des principales communes littorales (1999–2009).....	172
Figure 6 – Prévisions démographiques tendanciennes par commune – hypothèse de croissance haute	176
Figure 7 – Prévision démographique régionale – hypothèse de croissance haute (2009-2032).....	176
Figure 8 – Contribution du solde naturel et du solde migratoire dans la croissance démographique régionale (INSEE, période 1990-2030)	177
Figure 9 – Scénarios démographiques (INSEE, période 2007-2040)	177
Figure 10 – Prévisions démographiques tendanciennes par commune – hypothèse de croissance haute	178
Figure 11 – Prévision démographique régionale – hypothèse de croissance basse	179
Figure 12 – Prévisions démographiques par commune – hypothèse de croissance basse	179

Tableaux

Tableau 1 – Prévisions de l’évolution des besoins en logements sur les communes de la CACL	166
Tableau 2 – Taux de croissance annuels moyens de 9 communes littorales (1999-2009)	173
Tableau 3 – Densités urbaines des communes sans document d’urbanisme	182

Tableau 4 – Densités urbaines des communes avec document d’urbanisme	183
Tableau 5 – Surfaces urbaines supplémentaires des communes sans document d’urbanisme pour les 3 hypothèses de croissance.....	184
Tableau 6 – Surfaces urbaines supplémentaires des communes avec document d’urbanisme pour les 3 hypothèses de croissance.....	184
Tableau 7 – Surfaces d’extension agricole par commune pour les 3 hypothèses de croissance.....	185

Introduction

Contexte et objectifs

L'étude que nous avons menée ici, consistant à définir de grands scénarios socio-économiques d'évolution d'occupation des sols suivant les dynamiques territoriales actuelles de la région Guyane, s'inscrit dans le cadre plus vaste du projet GuyaSim, lui-même visant à réaliser un logiciel de simulation de l'impact de différents scénarios de développement sur les services des écosystèmes forestiers de Guyane.

Le contexte régional étant marqué par un très fort taux d'accroissement démographique (le plus élevé de toutes les régions de France avec une croissance approchant celle des pays en développement), ainsi que par une surface forestière recouvrant près de 80% du territoire, les décideurs locaux se retrouvent confrontés à la réalisation de choix décisifs concernant les surfaces à aménager afin de préserver au mieux la richesse des écosystèmes tout en assurant à la population guyanaise des aménagements suffisants pour faire face à son développement rapide.

Dans ce contexte, le projet GuyaSim vise d'une part à fournir un outil d'aide à la décision permettant d'évaluer l'impact des projets d'aménagement sur les services des écosystèmes forestiers de Guyane, et d'autre part à créer un laboratoire virtuel permettant aux scientifiques de tester les impacts environnementaux de différents scénarios de développement.

Les travaux permettant d'aboutir à la réalisation du logiciel ont été regroupés en 4 activités :

- **L'activité 1** concerne la spatialisation des services écosystémiques à l'échelle de la forêt guyanaise, qui permettra d'obtenir des indicateurs spatialisés de différents services tels que le stock de carbone et la biodiversité.
- **L'activité 2**, objet de la présente étude, vise quant à elle à étudier les dynamiques territoriales guyanaises afin de définir différents scénarios socio-économiques permettant de réaliser des cartes prospectives d'occupation des sols à différents pas de temps sur la région.
- **L'activité 3** vise à modéliser l'impact des scénarios de changement climatique sur les différents habitats forestiers.
- **L'activité 4** concerne enfin la réalisation du logiciel de simulation qui devra permettre d'explorer, de façon interactive et graphique, l'évolution des services écosystémiques forestiers suivant les scénarios de développement socio-économiques et l'impact des changements climatiques, définis dans les précédentes activités.

La réalisation du projet dans sa globalité est programmée sur une période de trois ans, de 2011 à 2013. L'étude sur les scénarios socio-économiques de développement a quant à elle été menée sur une année, d'Octobre 2011 à Octobre 2012.

Plan de l'étude

L'activité n°2 du projet Guyasim vise donc à définir de grands scénarios socio-économiques permettant d'anticiper les changements d'occupation des sols sur le territoire guyanais.

Pour cela, nous nous sommes tout d'abord intéressés aux dynamiques actuelles de la région, d'une part en observant les changements d'occupation des sols récemment intervenus sur la zone littorale

et d'autre part en définissant les principaux enjeux de développement, par l'étude de la bibliographie disponible et à travers des entretiens avec différents acteurs de l'aménagement du territoire.

Puis nous avons défini, à partir de ces données, plusieurs grands scénarios socio-économiques basés sur une étude prospective de la croissance démographique par commune. Trois scénarios ont été établis à échéance 2032 (20 ans à compter de la réalisation de cette étude), suivant trois hypothèses de croissance démographique, une haute, une moyenne et une basse. Ils concernent les communes littorales, là où se concentrent les changements d'occupation des sols.

Enfin, nous avons pu spatialiser les résultats de ces scénarios de croissance démographique afin d'obtenir une vision cartographique de l'occupation des sols en 2022 et 2032. Nous détaillerons ici les différentes hypothèses suivies lors de la réalisation de ces cartes prospectives.

1. Caractérisation de l'occupation du sol et des dynamiques actuelles du territoire guyanais

Afin de pouvoir définir différents scénarios socio-économiques de développement de la Guyane, nous avons été amenés à étudier les dynamiques passées et actuelles de la région, permettant de cerner les principaux facteurs régissant les mécanismes de changement d'occupation des sols sur le territoire.

Il s'agit tout d'abord d'obtenir une cartographie de l'occupation actuelle des sols guyanais qui servira de base à l'élaboration des scénarios socio-économiques.

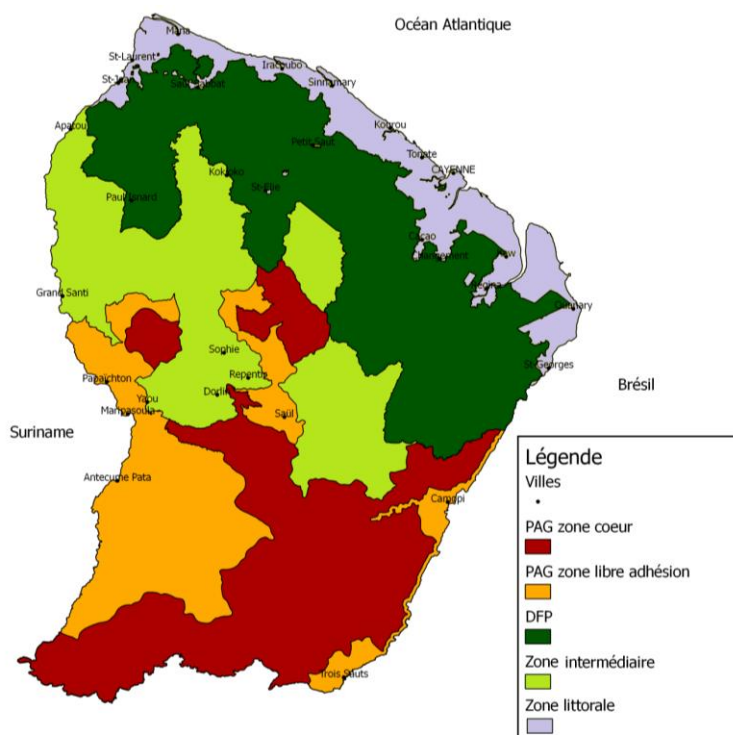
En second lieu, nous analyserons les dynamiques de développement actuelles (accroissement démographique, vitesse de déforestation, colonisation spontanée...) afin de répertorier et localiser les zones les plus susceptibles de connaître un changement d'occupation des sols dans les années à venir. Pour cela, nous nous baserons sur deux principales sources d'informations :

- D'une part les données recueillies auprès de différents acteurs de l'aménagement du territoire guyanais, qu'il s'agisse de projets d'aménagement déjà définis dans les documents d'urbanismes (SAR, SCOT, PLU) ou d'informations plus générales sur les tendances de développement des différentes communes du littoral guyanais.
- D'autre part les données issues de la bibliographie et de différentes études statistiques permettant de chiffrer et caractériser les dynamiques d'évolution régionales et communales de Guyane.

1.1.Occupation du sol actuelle

Avec la plus faible densité démographique de tous les départements français (2,5 hab/km²), la Guyane connaît également une répartition très inégale de la population sur son territoire, avec une très forte concentration de celle-ci sur les communes littorales, la forêt occupant le reste du département.

Suivant leur localisation, les forêts guyanaises sont soumises à différents régimes de gestion :



Zone littorale : zone de développement urbain, agricole

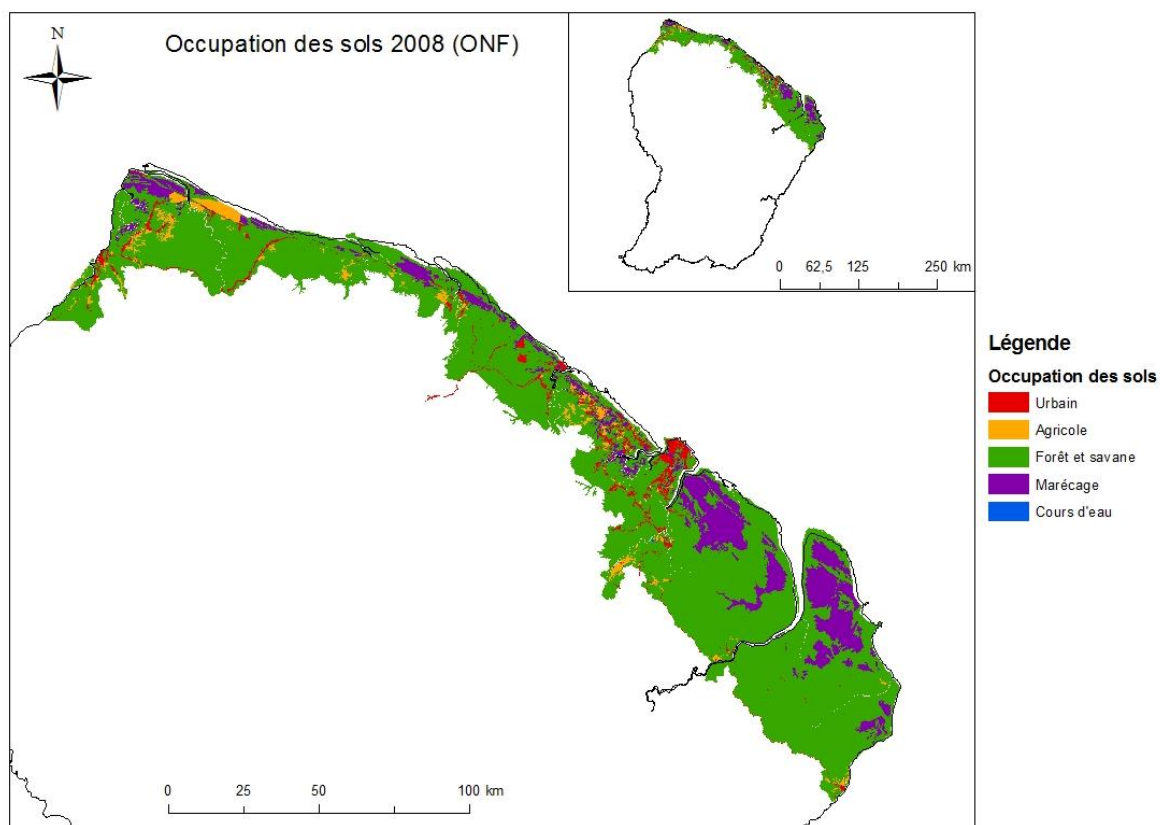
DFP : Domaine Forestier Permanent, à vocation forestière stricte

Carte 1 – Différents régimes de gestion des forêts de Guyane (ONF)

La déforestation concerne en priorité la zone littorale, où se font aujourd’hui les principaux aménagements urbains et agricoles.

1.1.1. Occupation des sols sur la bande littorale

Afin d’évaluer les dynamiques territoriales de la Guyane, nous devons tout d’abord obtenir une vision de l’occupation des sols actuelle sur le territoire. Pour cela, nous nous basons sur les cartes réalisées par l’ONF concernant la frange littorale de la Guyane pour les années 2001, 2005 et 2008 (ci-dessous, exemple 2008) :



Carte 2 – Occupation des sols 2008 sur la zone littorale (ONF)

A partir de ces cartes, on peut observer la répartition géographique des zones urbaines, agricoles, de forêt, savane, marécage et cours d’eau sur le territoire littoral. La légende présentée ici est une simplification de la légende originale, avec un regroupement que l’on peut présenter comme suit :

- Zones urbaines

Les zones urbaines désignent les zones de bâti, avec différents niveaux de densité de l’habitat, ainsi que les zones industrielles et commerciales. Elles comprennent également les infrastructures de transport telles que routes, aéroports et zones portuaires.

Par la suite, nous avons été amenés à différencier les zones urbaines de « bâti isolé » des autres types de zones « urbaines », afin d’obtenir une meilleure modélisation de l’évolution de ces surfaces.

- Zones agricoles

Les zones agricoles regroupent différents types de terres cultivées telles que les vergers, les rizières, les systèmes culturaux complexes mais également les zones de prairies réservées à l’élevage.

- **Zones de forêt et savane**

Les zones de forêt et savane comprennent une grande variété de types de forêt et mangroves, ainsi que les savanes sèches et inondées.

Par la suite, nous avons choisi de différencier les zones de savanes des zones de forêt afin de pouvoir distinguer les niveaux d'impact des changements d'affectation des sols sur les services écosystémiques de ces différentes zones.

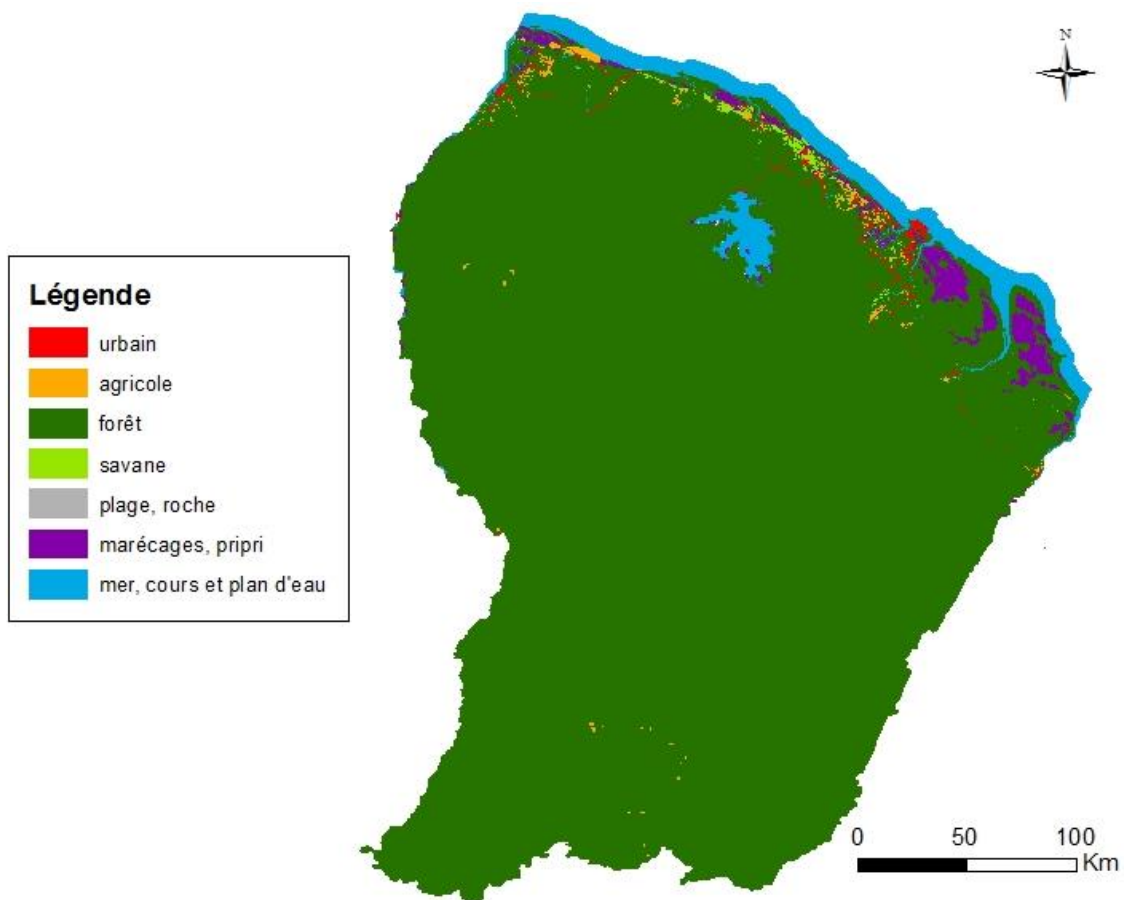
- **Zones de marécage et pripri**

Les zones de marécage et pripri regroupent les marécages maritimes et ripicoles ainsi que les zones de marécages boisés ou pripri.

Ce regroupement permet d'observer les principaux pôles urbains actuels que sont Cayenne, Saint-Laurent du Maroni et la bande littorale située entre Kourou et Cayenne, passant par Macouria.

1.1.2. Carte de référence pour l'établissement des scénarios de développement

Afin d'obtenir une carte de référence pour l'établissement des scénarios de développement, nous avons fusionné la carte d'occupation des sols de l'ONF présentée ci-dessus avec une carte des couverts forestiers sur le Sud de la Région, réalisée par télédétection.



Carte 3 – Occupation des sols 2008 – carte de référence

Ici aussi, la légende utilisée représente une simplification de la légende originale, qui détaille différents types de couverts forestiers, que nous n'avons pas jugés utile de reproduire ici pour l'étude des dynamiques de développement.

1.2. Dynamiques du territoire

Après avoir obtenu une vision de l'occupation des sols actuelle sur le territoire, nous nous sommes intéressés aux dynamiques socio-économiques régionales afin de définir les principales tendances d'évolution des différents types de zones définis ci-dessus.

Pour cela, nous avons considéré d'une part les avis recueillis auprès de différents acteurs de l'aménagement du territoire guyanais, qui permettent de mieux cerner les dynamiques de développement à différents niveaux (principalement régional et communal) et d'autre part les projections démographiques réalisées par l'INSEE pour la région.

1.2.1. Bilan des entretiens avec les différents acteurs de l'aménagement du territoire

Une série d'entretiens menés avec différents acteurs de l'aménagement du territoire guyanais, principalement partenaires ou futurs bénéficiaires du projet GuyaSim, a été menée entre Octobre 2011 et Août 2012 (cf. liste des acteurs rencontrés en Annexe).

Ces entretiens ont permis de définir les principales problématiques auxquelles doivent répondre les collectivités locales, telles que la nécessité de faire face à une forte pression démographique tout en maîtrisant l'étalement urbain, ainsi que les grandes orientations de développement dans différents domaines (urbain, agricole, énergétique et minier).

1.2.1.1. Faire face à la pression démographique

- Au niveau régional

Le service désenclavement du Conseil Régional assure l'établissement du SAR (Schéma d'Aménagement Régional), document à valeur prescriptive donnant les grandes orientations de l'aménagement régional pour les 20 prochaines années sur la région.

Le SAR de Guyane en vigueur date de 2001 et se trouve actuellement en cours de révision. La version actuelle permet tout de même de repérer d'une part l'importance de la croissance démographique (3,78% de croissance annuelle moyenne sur la période 1999-2006) ainsi que la structure d'une région jeune, avec en 2001 45,6 % de la population âgée de moins de 20 ans. D'autre part, on relève d'importantes disparités dans les dynamiques de développement territoriales, les polarités principales que sont Cayenne et Kourou regroupant près des ¾ de la population et la quasi-totalité du tissu économique sur une très faible proportion du territoire. Ces deux facteurs additionnés entraînent inévitablement une situation de forte croissance démographique très polarisée, elle-même impliquant les importantes difficultés que rencontrent les collectivités territoriales pour fournir une quantité suffisante de logements à leur population.

- Au niveau des Communautés de Communes et d'Agglomérations : exemple de la CACL

C'est autour de Cayenne que se situe le pôle de développement principal de la Guyane. Dans ce secteur, les communes se sont regroupées en Communauté d'Agglomérations (la CACL,

Communauté d'Agglomérations du Centre Littoral) afin de gérer certains aspects communs de leur développement.

La CACL regroupe ainsi les 6 communes de Cayenne, Macouria, Matoury, Montsinéry-Tonnegrande, Rémire-Montjoly et Roura. En 2009, ces communes représentaient ensemble une population de 117222 habitants, soit près de 52% de la population totale guyanaise.

Différents documents d'urbanisme sont produits au niveau des Communautés de Communes ou d'Agglomération, dont le SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale), visant à mettre en cohérence l'ensemble des politiques sectorielles notamment en matière d'urbanisme, d'habitat, de déplacements et d'équipements commerciaux sur l'ensemble des communes concernées.

Le principal objectif du SCOT du centre littoral est aujourd'hui de faire face à la forte croissance démographique sur le territoire de la CACL (2,8%), qui devrait entraîner un doublement de la population dans les 20 prochaines années. Il faudra donc prévoir une extension considérable du parc de logements afin de faire face à cette pression démographique croissante :

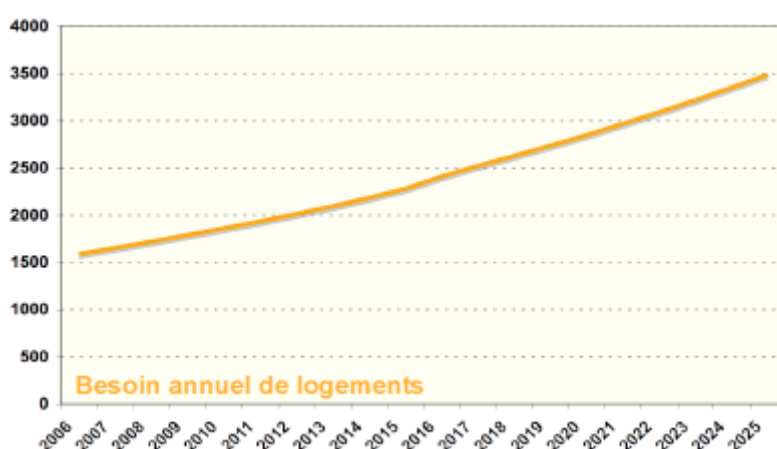


Figure 72 – Prévisions de l'évolution des besoins annuels en logements sur les communes de la CACL (SCOT CACL)

L'évolution du parc de logements d'après les prévisions du SCOT sera la suivante :

Logements en 2005	PARC 2015	PARC 2025
39 300	58 500	88 000
	+ 19 100	+ 48 300

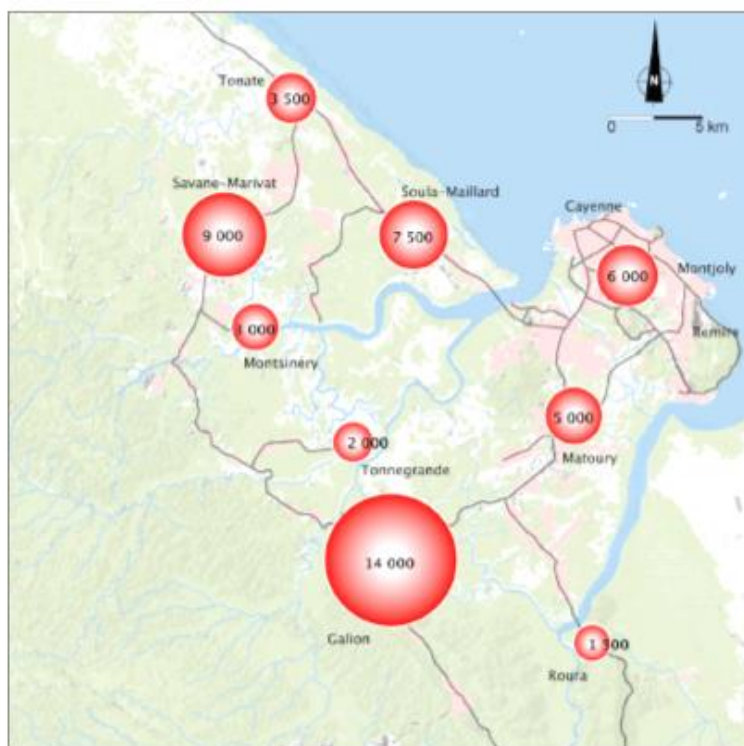
Tableau 23 – Prévisions de l'évolution des besoins en logements sur les communes de la CACL

Conséquence directe des estimations démographiques (270 000 habitants en 2025, SCOT CACL), les besoins de logements suivent une courbe de croissance assez comparable à l'évolution de la population.

Il faut noter ici que l'accroissement de la population ne détermine pas à lui seul le volume de logements nécessaires, l'évolution lente des modes de vie et des modes de cohabitation détermine également les besoins réels en logements. Ainsi on obtient une répartition des besoins en logements différentielle par commune (telle que représentée ci-dessous pour le pôle de Cayenne).

D'après le PADD (Plan d'Aménagement et de Développement Durable), on prévoit notamment une extension des villes (Cayenne, Rémire-Montjoly et Matoury) et des bourgs existants (Montsinéry,

Tonnegrande, Tonate, Roura et Cacao) ainsi que la réalisation au moins partielle des bourgs de Soula-Maillard et Savane-Marivat.

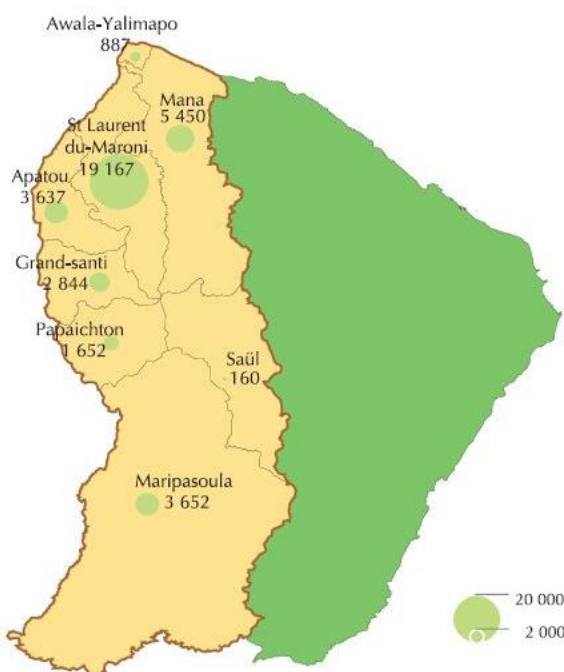


Carte 4 – Besoins en logements sur le pôle de Cayenne (SCOT CACL)

Il est à noter que le SCOT de la CACL, qui doit respecter les orientations de développement définies au niveau régional, sera certainement remis en question en 2013, lors de la validation du nouveau SAR.

- Au niveau de la CCOG (Communauté de Communes de l'Ouest Guyanais)

La Communauté de Communes de l'Ouest Guyanais est constituée de 8 communes : Apatou, Awala-Yalimapo, Grand-Santi, Mana, Maripa-Soula, Papaïchton, Saint Laurent du Maroni et Saül, l'essentiel de la population étant réparti sur les communes littorales de Saint-Laurent-du-Maroni et Mana.



C'est également sur ces communes que les dynamiques de croissance enregistrées sont les plus importantes.

Carte 5 – Répartition géographique de la population de la CCOG (INSEE - 2009)

Afin de mieux cerner les principaux facteurs entrainant le développement de ces communes, on s'intéresse aux différentes composantes de leur taux de croissance démographique :

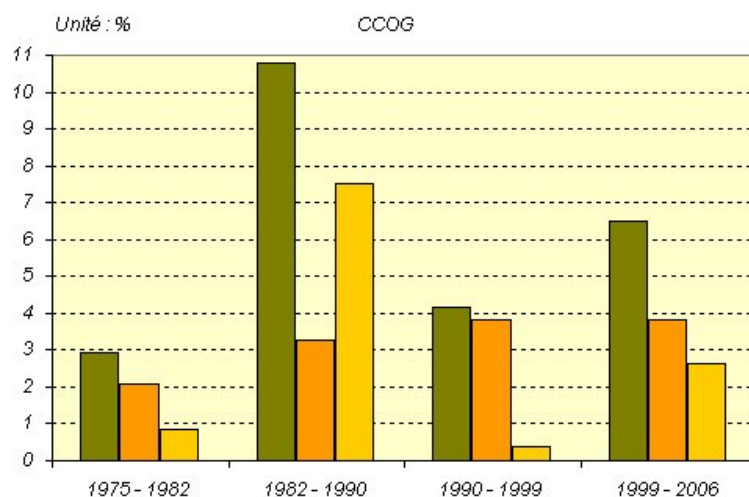
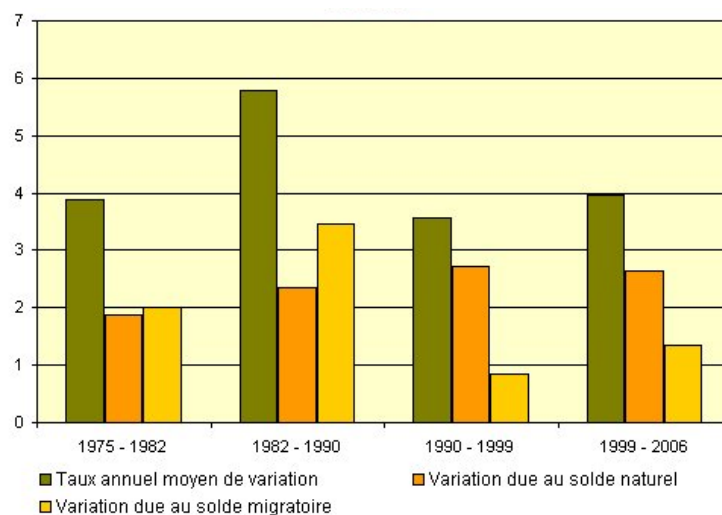


Figure 73 – Composantes du taux de variation de la population sur le territoire de la CCOG (INSEE)



Source : Insee, recensement de la population

Figure 74 – Composantes du taux de variation de la population guyanaise (INSEE)

On voit ici que dans les années 1980 le solde migratoire était la principale composante du taux de croissance démographique de la CCOG (comme de la Guyane), ce phénomène pouvant s'expliquer par les migrations en provenance du Suriname voisin qui connaissait alors de fortes instabilités politiques.

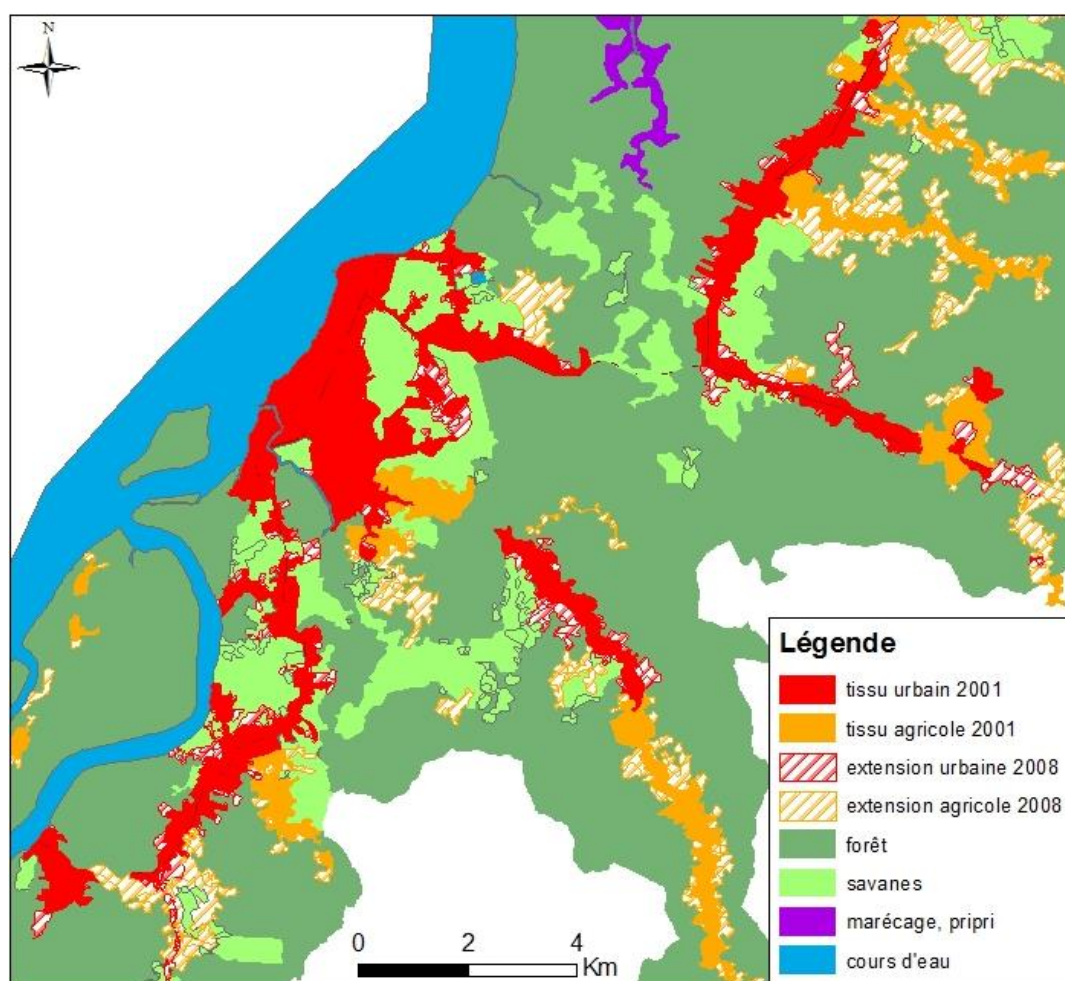
Par la suite, depuis les années 1990, c'est à l'inverse le solde naturel qui est devenu dominant dans la composition de l'accroissement démographique, et particulièrement sur le territoire de la CCOG où ce dernier est le plus fort de toute la région.

Les défis à relever par les collectivités territoriales locales sont donc particulièrement importants sur ces communes, où les besoins en logements et infrastructures connaissent la croissance la plus rapide.

1.2.1.2. Maîtriser l'étalement urbain

La forte croissance démographique, aujourd'hui principalement liée à l'accroissement naturel en Guyane, place les collectivités locales face à une problématique permanente de rattrapage, celles-ci ayant du mal à apporter à la population les logements et infrastructures nécessaires à son développement. Vient s'ajouter à cette difficulté une problématique due à un phénomène, observable sur la plupart des communes littorales, d'appropriation spontanée des terres entraînant une dispersion de l'habitat.

L'étalement urbain ainsi engendré, principalement le long des voies de communication, peut être observé notamment par l'étude des cartes d'occupation des sols :



Carte 6 – Extension des aires urbaines et agricoles sur la commune de Saint-Laurent-du-Maroni (2001-2009)

On constate ici, entre 2001 et 2008, l'apparition de zones d'extension urbaines et agricoles, la plupart se situant hors des périmètres réservés aux projets urbains et agricoles sur les documents d'urbanisme.

Dans ce cadre et afin d'évaluer l'ampleur du phénomène, une étude de recensement et d'analyse des zones d'habitat spontané sur le littoral guyanais a été menée par l'AUDEG (Agence d'Urbanisme et de Développement de la Guyane). Elle permet de comparer les zones d'apparition de ce type d'habitat sur les communes de Macouria, Montsinery-Tonnegrande et Matoury (communes les plus touchées par ce phénomène) entre les années 2001, 2003 et 2006.

A titre d'exemple, l'étude montre notamment que sur la Commune de Macouria, de 2003 à 2006 84,8% des constructions ont été édifiées de façon illégale. De 2001 à 2006, on observe sur cette même commune un taux de croissance moyen annuel des unités d'habitat illégal de 13,6%, qui aurait toutefois tendance à diminuer légèrement, passant à 10,4% sur la période 2003 – 2006.

Le phénomène de constructions illicites est également particulièrement visible sur le secteur du Bas-Maroni, comme le souligne le *Diagnostic territorial du Bas Maroni* établi par l'ARUAG (aujourd'hui AUDEG) en 2009. D'après ce rapport, le fort développement des constructions spontanées est dû à deux facteurs principaux, que sont la sous-production de logement social et le difficile accès au foncier.

Ces résultats démontrent bien l'ampleur du phénomène, qui entraîne différents problèmes au niveau de l'établissement par les collectivités locales des réseaux d'assainissement, d'eau et d'électricité, et accentue également le nombre de personnes exposées aux risques naturels et sanitaires, les constructions spontanées étant souvent établies dans des zones inondables, et présentant de graves signes d'insalubrité. Il apparaît donc nécessaire pour ces gestionnaires de réaliser un effort de densification de l'habitat sur leur territoire, afin de maîtriser l'apparition de constructions illicites.

1.2.1.3. *Dynamiques agricoles*

L'agriculture guyanaise, souffrant encore d'un manque de structuration des filières, se caractérise aujourd'hui par une grande diversité de types d'exploitations, qui peuvent être regroupés de façon géographique comme suit :

- A l'Ouest, le territoire de la CCOG est marqué par une agriculture traditionnelle sur abattis. Les exploitations familiales sont de petite taille, souvent inférieure à l'hectare, et permettent d'assurer une production principalement vivrière.
- Sur le littoral, on observe de plus grandes structures avec notamment des exploitations d'élevage proches de la côte, les rizières dans la région de Mana et un pôle d'exploitations légumières et fruitières proche de Cayenne.

L'observation des projets de développement agricole sur la région, suivis par la DAAF (Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt), permet de distinguer plusieurs « pôle » de développement :

- Celui de Saint-Laurent-du-Maroni et Apatou dans l'Ouest, où le développement agricole est très fort, ce qui peut être relié au fort taux d'accroissement démographique dans cette sous-région

- Un fort développement est également observé dans la zone Wayabo (entre Cayenne et Kourou), géré par l'EPAG (Etablissement Public d'Aménagement de Guyane)
- Une région Est peu dynamique au niveau agricole, où l'on ne note pas de gros projet de développement en perspective.

1.2.1.4. Développement énergétique : projet Biomasse

La biomasse représente pour l'ADEME (Agence de Développement et de Maîtrise de l'Energie) le principal potentiel de développement d'énergies renouvelables en Guyane. Cependant les projets de nouvelles centrales à biomasse se heurtent aujourd'hui au problème de l'approvisionnement des unités, qui doit être suffisant en quantité et assuré sur suffisamment d'années pour que les industriels acceptent d'investir.

Pour résoudre ce problème et dans le cadre du PRME (Programme Régional pour la Maîtrise de l'Energie), l'ADEME a lancé une étude sur la valorisation de la biomasse issue des défriches agricoles : l'idée actuellement retenue est celle d'organiser la défriche de parcelles avant même de les attribuer aux agriculteurs.

Dans cette étude, les deux bassins de production pressentis sont situés à St Laurent du Maroni (où aurait lieu le 1^{er} test) et à Montsinery-Tonnegrande.

1.2.1.5. Exploitation minière

La forêt guyanaise est également soumise aux effets de l'activité minière, principalement d'orpaillage, dont le développement suit le cours de l'or. Pour en rendre compte, nous nous sommes adressés à la DEAL (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) qui délivre les autorisations de prospections, ainsi qu'à l'Observatoire de l'activité minière a été mis en place par l'ONF et se base sur l'analyse d'images satellites pour évaluer l'impact de l'activité sur la région.

Au niveau de l'exploitation légale, on ne prévoit pas de gros développement sur de nouvelles aires géographiques, les techniques d'extraction évoluant, les opérateurs risquent en effet de revenir sur des bassins déjà exploités.

En ce qui concerne l'orpaillage illégal, il est principalement localisé sur la bande Ouest de la Guyane, le long du Maroni, mais également aux alentours de Camopi, face au Brésil, dans le secteur de Paul Isnard et à l'Ouest du barrage de Petit Saut (secteur de Dieudonné).

1.2.2. Dynamiques démographiques

L'étude des recensements de population menés par l'INSEE permet d'établir les dynamiques démographiques régionales et communales sur les dernières années. Voici les principales caractéristiques qui ressortent de l'analyse de ces documents, et sur lesquelles nous nous baserons pour définir de grands scénarios prospectifs de croissance.

1.2.2.1. Une population jeune

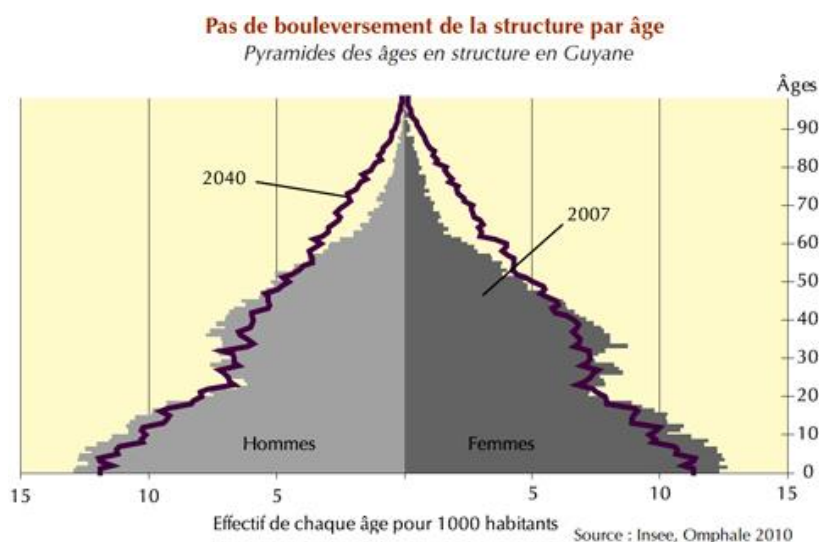


Figure 75 – Pyramide des âges en Guyane (INSEE)

L'observation de la pyramide des âges de Guyane 2007 montre une population très jeune, caractéristique des pays n'ayant pas achevé leur transition démographique, ce qui permet d'expliquer le fort taux d'accroissement issu du solde naturel sur la région.

1.2.2.2. Des croissances démographiques différentielles par communes

Après avoir considéré l'accroissement démographique régional, il convient de s'intéresser aux échelles communales afin d'obtenir une vision spatialisée des différentes dynamiques démographiques :

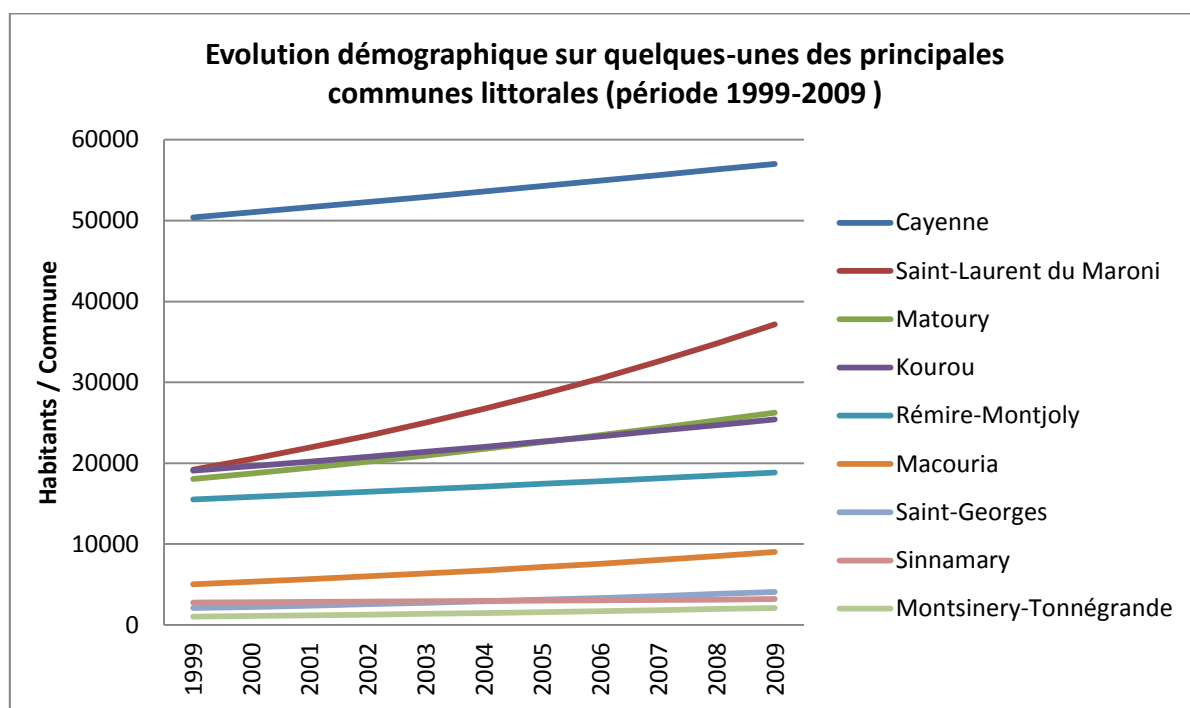


Figure 76 – Evolution démographique sur 9 des principales communes littorales (1999–2009)

Commune	Taux de croissance annuel moyen (1999-2009)
Cayenne	1,24%

Saint-Laurent du Maroni	6,82%
Matoury	3,83%
Kourou	2,92%
Rémire-Montjoly	1,95%
Macouria	5,97%
Saint-Georges	6,91%
Sinnamary	1,38%
Montsinery-Tonnégrande	7,36%

Tableau 24 – Taux de croissance annuels moyens de 9 communes littorales (1999-2009)

On observe ici les différences de taux de croissance démographique entre les principales communes littorales. On remarque ainsi des communes à l'accroissement démographique fort, avec des taux proches ou supérieurs aux 6% de croissance moyenne annuelle, telles que Montsinery, Saint-Georges, Saint-Laurent et Macouria, et à l'inverse des communes aux taux d'accroissement inférieurs à 2% telles que Cayenne, Rémire ou Sinnamary. Pour les premières, les forts taux observés peuvent être dûs soit au dynamisme démographique propre aux communes « jeunes », comme c'est le cas pour Saint-Laurent ou Saint-Georges, soit à l'attractivité de communes situées à proximité du pôle de Cayenne, telles que Montsinery ou Macouria. Les faibles taux d'accroissement de certaines communes peuvent quant à eux s'expliquer soit par le caractère peu attractif des communes soit par leur caractère déjà fortement urbanisé qui ne laisse pas la place à d'importantes augmentations de population sur leur territoire, comme c'est le cas pour Cayenne et Rémire.

2. Elaboration de scénarios socio-économiques

A partir des données précédemment décrites, recueillies à la fois auprès des acteurs locaux de l'aménagement du territoire guyanais ainsi que dans les études statistiques disponibles pour la région (INSEE, IEDOM), nous avons pu établir différents scénarios socio-économiques de développement de la Guyane. L'étude prospective devait s'établir sur les 20 prochaines années (échéance 2032), et permettre d'obtenir *in fine* un visuel des changements d'occupation des sols potentiels sur le département au cours de cette période. Cette démarche se présente en trois parties :

Nous expliciterons tout d'abord les raisons qui nous ont poussés à définir le facteur démographique comme principal facteur explicatif des changements d'occupation des sols sur le territoire, à partir de l'observation des dynamiques passées de la Région.

Puis nous nous intéresserons aux différentes modulations de ce facteur qui nous ont permis d'établir trois grands scénarios prospectifs d'évolution de l'occupation des sols sur les 20 prochaines années.

Enfin, nous présenterons une discussion des méthodes suivies pour l'élaboration des scénarios ainsi que d'éventuelles améliorations possibles.

2.1. La croissance démographique, principal facteur de développement

2.1.1. Poids de la démographie : baser les scénarios sur l'accroissement démographique

Les documents d'urbanisme, les études statistiques ainsi que les différentes études réalisées localement montrent clairement que le développement de la Guyane est principalement dirigé par la nécessité de répondre à la très forte croissance démographique régionale. En effet, la Guyane avec 3,78% de croissance annuelle moyenne sur la période 1999-2006 se situe loin devant les autres régions françaises où le taux de croissance moyen est de 0,66%.

La première hypothèse retenue pour l'élaboration des cartes prospectives d'occupation des sols est donc que l'évolution des surfaces urbaines peut être reliée directement à l'augmentation de population sur les différentes communes de Guyane.

2.1.2. Importance de réaliser l'étude au niveau communal

Etant entendu que nous choisirons la croissance démographique comme facteur déterminant l'augmentation des surfaces urbaines sur la région, il s'agit à présent de nuancer cette approche en tenant compte des différentes dynamiques communales.

En effet, en se basant sur l'observation des dynamiques passées de croissance démographique de 1999 à 2009 et en supposant que les taux de croissance restent relativement similaires pour la période 2009 – 2032, il apparaît clairement qu'il faudra réaliser l'étude prospective à l'échelle communale pour obtenir une meilleure vision de la répartition spatiale des zones d'extension urbaine et agricole.

2.2.Trois scénarios de développement socio-économique

2.2.1. 3 scénarios suivant les scénarios INSEE départementaux, à adapter par commune

Le premier scénario à être calculé a été le scénario haut, où la croissance démographique est la plus forte sur la période 2009-2032, en poursuivant les tendances d'augmentation démographique de chaque commune sans ralentissement de croissance.

Puis nous avons réalisé le scénario de croissance moyenne en nous basant sur le scénario central de l'INSEE, prenant en compte un léger ralentissement de la croissance démographique globale.

Enfin nous avons pu réaliser le scénario bas en supposant que l'écart de population globale 2032 serait le même entre le scénario haut et le scénario moyen qu'entre le scénario moyen et le scénario bas.

2.2.1.1. Scénario haut

Hypothèse retenue : nous avons choisi pour scénario haut le scénario tendanciel, défini en poursuivant les tendances d'augmentation de population de chaque commune.

On se base pour le calcul sur les populations des communes du littoral, qui sont celles sur lesquelles porte notre étude, les plus susceptibles de connaître d'importants changements d'occupation des sols au cours des prochaines années.

On calcule alors le facteur de croissance moyenne annuelle de chaque commune sur la période 1999-2009, pour l'hypothèse haute :

$FC_Commune_haute = 1 + (\text{Gain de population annuel moyen} / (\text{Pop2009} * \text{Pop1999})^{(1/2)})$

Où :

Gain de population annuel moyen = $(\text{Pop2009} - \text{Pop1999}) / (2009 - 1999)$

Pop2009 : population de la commune en 2009 (nombre d'habitants)

Pop1999 : population de la commune en 1999 (nombre d'habitants)

On obtient alors, en poursuivant la tendance par commune :

$\text{Pop2032_haute} = \text{Pop2009} * (FC_Commune^{(2032-2009)})$
--

(exemple pour l'année 2032)

Nous pouvons donc réaliser les prévisions de croissance démographique suivante, par commune :

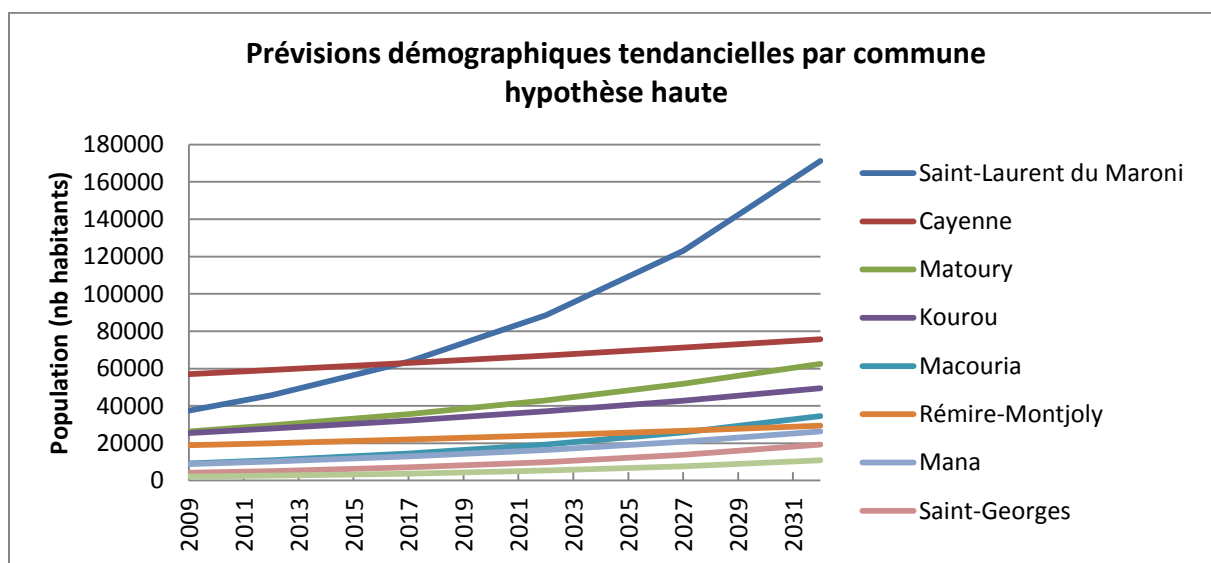


Figure 77 – Prévisions démographiques tendanciennes par commune – hypothèse de croissance haute

Cf tableau « Prévisions démographiques tendanciennes par commune – hypothèse haute » en Annexe

Calcul de l'augmentation démographique globale sur la région :

Pour connaître l'augmentation démographique globale pour la Guyane, on suppose que les communes littorales représentent le même pourcentage de la population globale en 2032 qu'en 2009, soit :

$$\text{Pop_Communes_littorales2009} / \text{Pop_Guyane2009} = \text{Pop_Communes_littorales2032} / \text{Pop_Guyane2032_haute}$$

Avec :

Pop_Communes_littorales : somme des populations des 7 communes du littoral pour lesquelles nous avons pu récupérer les documents d'urbanisme (Macouria, Mana, Matoury, Montsinery-Tonnegrande, Rémire-Montjoly, Saint-Laurent-du-Maroni et Sinnamary), et Cayenne et Kourou pour lesquelles nous n'avons pas de document exploitable mais qui représentent une part importante de la population régionale

Pop_Guyane : population totale de la Guyane

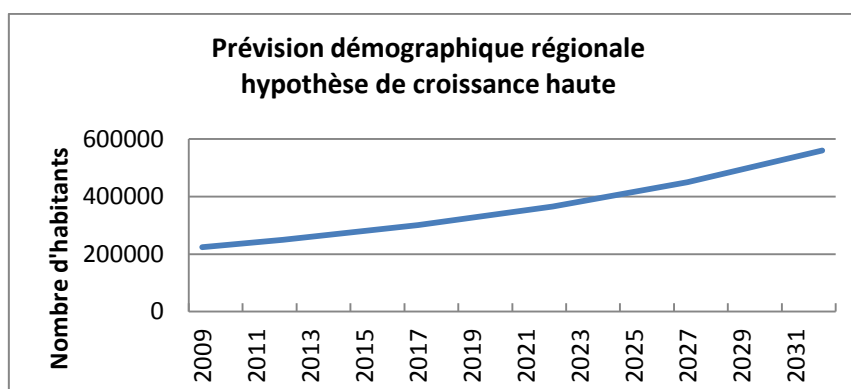


Figure 78 – Prévision démographique régionale – hypothèse de croissance haute (2009-2032)

Cf tableau « Prévision démographique régionale hypothèse haute » en Annexe

On obtient suivant ce scénario de croissance haute une population totale pour la Guyane de **553000 habitants** en 2032.

2.2.1.2. Scénario moyen

Hypothèse retenue : nous avons choisi pour scénario de croissance « moyenne », le scénario « central » des prévisions INSEE.

En effet, l'INSEE prend en compte différents paramètres (espérance de vie, fécondité, migrations) dans un modèle déjà développé de prévisions démographiques (modèle Omphale 2010), qui permet de modéliser un tassement du taux de croissance démographique de la région au cours des prochaines années (de 3,9% de taux de croissance annuelle moyen entre 1999 et 2007, la Guyane passerait à un taux de 3,1% entre 2008 et 2040).

Contribution du solde migratoire et du solde naturel dans la croissance démographique de la Guyane

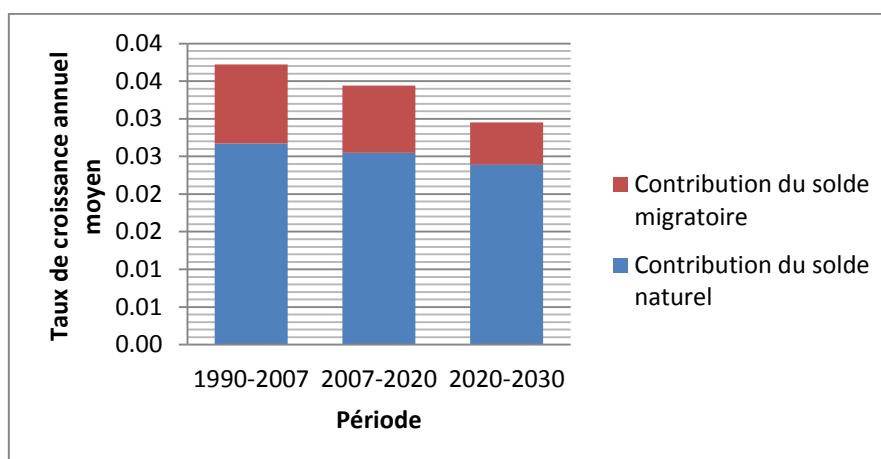


Figure 79 – Contribution du solde naturel et du solde migratoire dans la croissance démographique régionale (INSEE, période 1990-2030)

Cf tableau « Part du solde naturel et du solde migratoire dans la croissance démographique de la Guyane » en Annexe (INSEE – modèle Omphale 2010)

Ce modèle permet de réaliser les courbes de croissance suivantes :

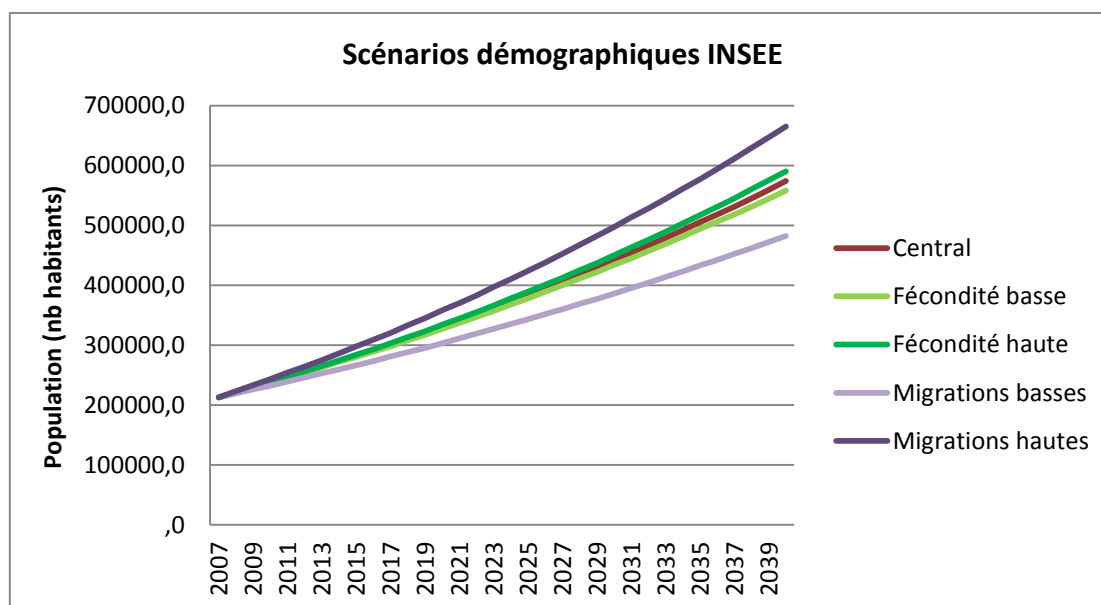


Figure 80 – Scénarios démographiques (INSEE, période 2007-2040)

Cf tableau « Projections de Population INSEE – modèle Omphale 2010 » en Annexe

Ce scénario étant élaboré au niveau régional, il s'agissait ensuite de moduler cette croissance démographique par commune. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur l'observation des taux de croissance passés, sur la période 1999-2009.

Nous avons pris pour hypothèse que chaque commune contribuerait à part égale à celle du scénario haut à la croissance démographique globale.

Le scénario central INSEE donne une population totale pour la région (Pop_Guyane2032_moyenne) de 466000 habitants en 2032.

Soit %Commune la part de chaque commune dans la croissance totale en 2032 suivant l'hypothèse haute, on a :

$$\%Commune = (Pop2032 - Pop2009) / (Pop_Guyane2032_haute - Pop_Guyane2009)$$

On peut alors calculer la population de chaque commune en 2032 pour le scénario moyen, en supposant ce pourcentage constant :

$$Pop2032_moyenne = \%Commune * Pop_Guyane2032_moyenne$$

On déduit de cette formule un facteur d'accroissement propre à chaque commune :

$$FC_Commune_moyenne = (Pop2032_moyenne / Pop2009) ^ {1/(2032 - 2009)}$$

D'où les courbes de croissance suivantes, pour l'hypothèse moyenne :

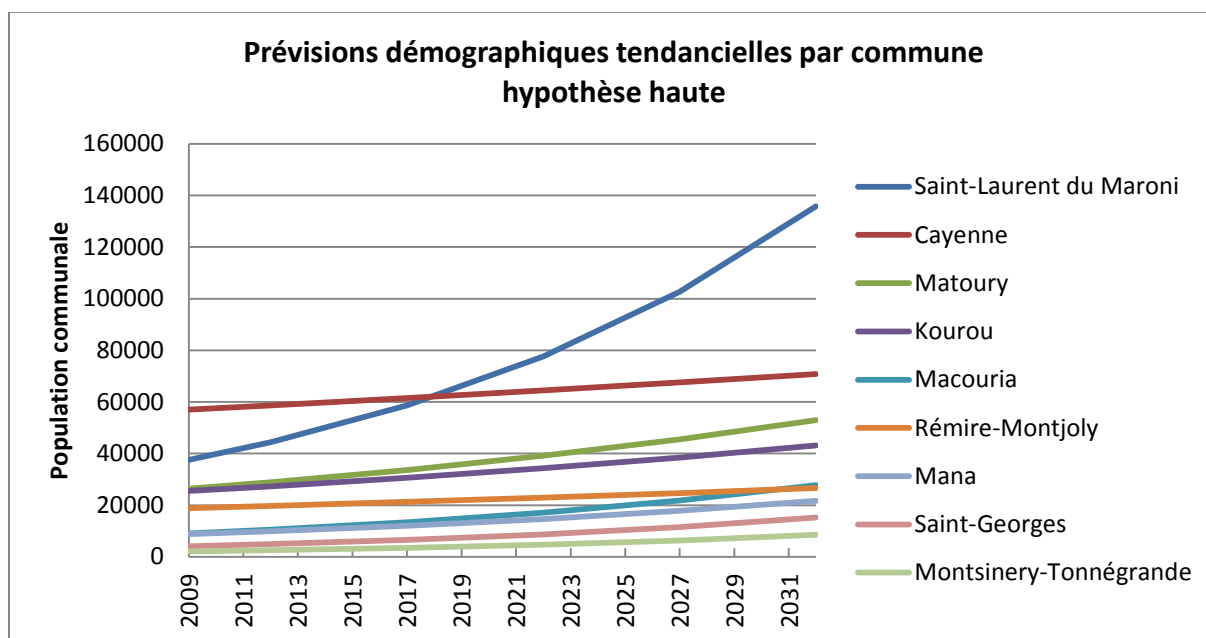


Figure 81 – Prévisions démographiques tendanciennes par commune – hypothèse de croissance haute

Cf tableau « Prévisions démographiques tendanciennes par commune – hypothèse moyenne » en Annexe

2.2.1.3. Scénario bas

Hypothèse retenue : Nous avons supposé pour réaliser le scénario de croissance basse que l'écart de population 2032 serait le même entre le scénario fort et le scénario moyen qu'entre le scénario moyen et le scénario bas.

D'où une population totale régionale en 2032, suivant l'hypothèse basse :

$$\text{Pop_Guyane2032_basse} = \text{Pop_Guyane2032_moyenne} - (\text{Pop_Guyane2032_haute} - \text{Pop_Guyane2032_moyenne})$$

On déduit de cette formule, pour l'hypothèse de croissance basse, une population totale 2032 pour la Guyane de **379000 habitants**, et la prévision de croissance régionale suivante :

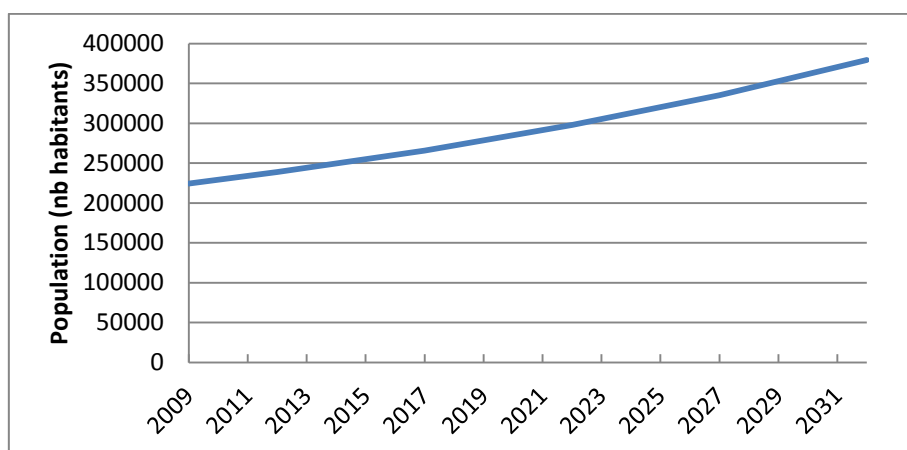


Figure 82 – Prévision démographique régionale – hypothèse de croissance basse

Cf tableau « Prévision démographique régionale - hypothèse basse » en Annexe

En suivant une méthode identique à celle décrite pour le scénario de croissance moyenne (part de chaque commune dans la croissance totale identique pour les 3 scénarios), on obtient les facteurs de croissance de chaque commune et les courbes de croissance suivantes :

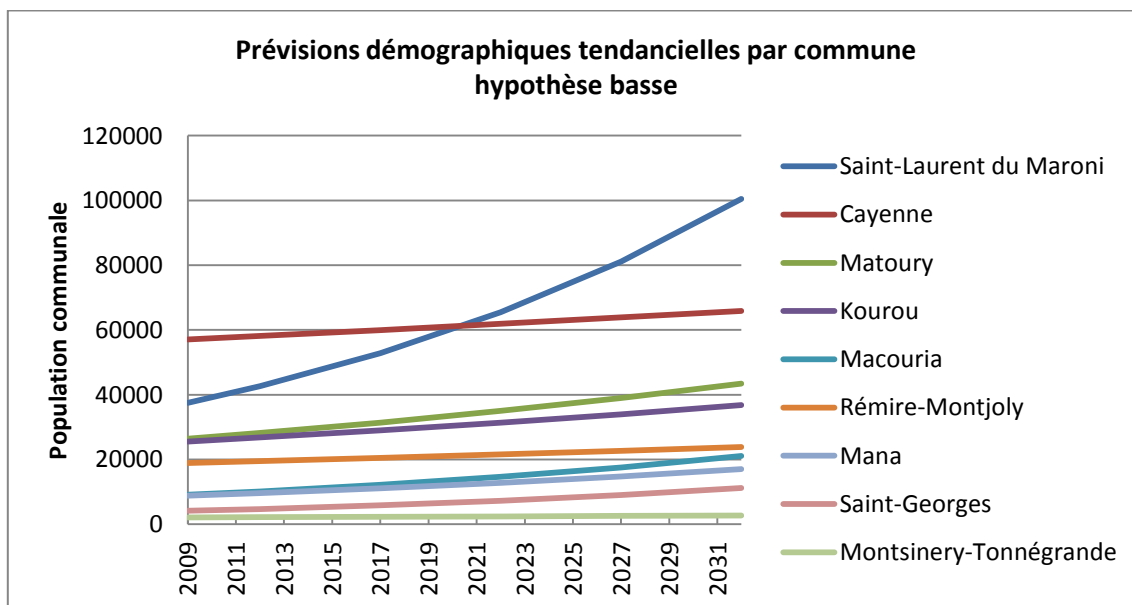


Figure 83 – Prévisions démographiques par commune – hypothèse de croissance basse

Cf tableau « Prévisions démographiques par commune – hypothèse basse » en Annexe

3. Spatialisation des résultats : élaboration des cartes d'occupation des sols à échéance 2032

Les trois scénarios de croissance démographique décrits ci-dessus permettent d'obtenir une évaluation des populations par communes à échéance 2032. Afin de réaliser des cartes prévisionnelles d'occupation des sols, nous devons pouvoir spatialiser ces résultats.

Pour cela, nous présenterons tout d'abord la méthodologie et les hypothèses qui nous ont permis de traduire les évolutions démographiques en termes de surfaces d'extension urbaine.

Puis nous nous intéresserons au cas des surfaces d'extension agricoles, en nous basant sur l'observation des évolutions de ces surfaces sur la période 2001 – 2008, d'après les cartes ONF d'occupation des sols.

Enfin, après avoir obtenu une prévision des surfaces d'extension urbaines et agricoles par commune, nous présenterons les hypothèses qui nous ont permis de définir l'emplacement de ces zones d'extension.

3.1. Traduction des hypothèses démographiques en termes de surfaces urbaines

3.1.1. Principes

Comme pour l'élaboration des scénarios de croissance démographique, nous avons cherché à modéliser l'évolution des surfaces urbaines au niveau communal. Il s'agissait de représenter les surfaces d'extension urbaine en 2032 sur la bande littorale, pour cela nous avons suivi deux protocoles distincts présentés ci-dessous, selon que nous disposions ou non du document d'urbanisme pour la commune.

3.1.1.1. *Communes avec document d'urbanisme*

Importance de distinguer le tissu urbain continu du bâti isolé

Au vu des dynamiques de développement décrites par les acteurs du territoire, nous devons distinguer deux types principaux d'urbanisation :

- l'urbanisation maîtrisée, se faisant sur les zones prévues à cet effet dans chaque commune et prenant la forme de lotissements, zones industrielles, commerciales, etc.
- l'urbanisation « sauvage », apparaissant principalement le long des routes et donnant un tissu urbain discontinu d'habitat dispersé.

Il paraissait donc nécessaire de distinguer deux types de tissus urbains pour réaliser les prévisions d'extension : le tissu urbain dit « continu » et le « bâti isolé ».

Afin de relier les scénarios démographiques à une croissance en surface, nous avons donc étudié les densités de population de ces deux types de tissus pour les différentes communes.

Utilisation des documents d'urbanisme dans la modélisation d'extension urbaine

Les documents d'urbanisme dont nous disposons pour 8 des communes littorales présentaient un zonage distinguant les zones urbaines actuelles et les zones dites « à urbaniser » (zones 1AU et 2AU), réservées au développement du tissu urbain.

Nous avons donc choisi de modéliser le phénomène d'extension des zones urbaines en deux étapes :

- premièrement interviendrait le recouvrement des surfaces « à urbaniser » des documents d'urbanisme par de l'habitat dense, ou tissu urbain continu.
- en second lieu apparaîtrait le bâti isolé, qui abriterait l'excédent de population prévue par les hypothèses de croissance démographiques

Il s'agissait alors de calculer les densités de population respectives de ces deux types de tissus urbains, par commune, en se basant sur les données de surfaces disponibles pour l'année 2008 (cartes ONF) et sur les données de recensement de population de l'INSEE.

D'autre part, dans le but de réaliser des cartes intermédiaires représentant l'occupation des sols en 2022, nous avons pris pour hypothèse que les zones de type 1AU des documents d'urbanisme seraient intégralement urbanisées en 2022, alors que l'urbanisation des zones 2AU interviendrait entre 2022 et 2032.

3.1.1.2. Communes sans document d'urbanisme

Dans le cas des communes pour lesquelles nous ne disposons pas de document d'urbanisme donnant les zones « à urbaniser », nous avons calculé une seule densité de population de zone urbaine par commune, d'après les surfaces urbaines 2008 et les données des recensements INSEE.

En supposant cette densité constante, nous avons pu établir les surfaces d'extension urbaines nécessaires pour loger la population supplémentaire en 2032, prévue par les hypothèses de croissance démographique.

3.1.2. Evaluation des densités démographiques par commune

Afin de calculer l'évolution des surfaces urbaines de 2008 à 2032, il nous était donc nécessaire de connaître les densités démographiques des différents types de zones urbaines pour chaque commune.

Pour cela, nous nous sommes basés à la fois sur les surfaces urbaines de la carte d'occupation des sols ONF 2008 et sur les recensements de population par commune de l'INSEE, existants uniquement pour 2009. Nous avons alors supposé que les évolutions de surfaces urbaines étaient négligeables entre 2008 et 2009, ce qui nous permet de calculer des densités de populations communales par la formule :

$\text{Densité_urbaine} = \text{Pop2009} / \text{Surface_urbaine2008}$
--

La légende de la carte d'occupation du sol ONF permet en outre de distinguer les zones de « bâti isolé » des autres types de zones urbaines. Pour les 7 communes dont nous possédons les documents d'urbanisme, nous nous sommes servis de cette distinction pour calculer deux densités de zones urbaines : celle des zones de bâti isolé et celle des autres types de zones, que nous appellerons par la suite zones urbaines denses.

Choix des densités des zones de bâti isolé, par commune :

Connaissant les populations respectives de chaque commune littorale en 2009 ainsi que leurs surfaces en bâti isolé et en zones urbaines denses, nous avons choisi de fixer arbitrairement la densité des zones de bâti isolé afin de pouvoir en déduire une densité moyenne pour les zones urbaines denses.

En observant les densités de population respectives de chaque commune, il est apparu nécessaire de réaliser une distinction entre les communes « urbaines » les plus peuplées, proches des grands centres urbains comme Cayenne et Saint-Laurent, et les communes « rurales », ayant une densité de population plus faible.

Notre regroupement s'effectue comme suit :

Les communes dites « urbaines »

Saint Laurent du Maroni

Matoury

Rémire-Montjoly

Les communes dites « rurales »

Mana

Sinnamary

Macouria

Montsinery-Tonnegrande

Dans les premières, nous avons fixé la densité des zones de bâti isolé à 7 habitants / hectare, alors pour les secondes cette densité ne semblait pas pouvoir dépasser 1 habitant / hectare, avec une exception pour la commune de Montsinery où il apparaissait plus cohérent de choisir une densité de bâti isolé de 0,5 habitant/hectare.

Calcul des densités démographiques des zones urbaines denses :

Après avoir fixé ces densités, nous obtenons les densités des zones urbaines denses par le calcul suivant :

$$\text{Densité_urbaine_zone_dense} = \frac{\text{Pop2009} - (\text{densité_bati_isolé} * \text{surface_bati_isolé})}{\text{surface_urbaine_totale}}$$

Nous obtenons ainsi les densités de population suivantes, par types de zones urbaines et par communes :

Communes sans document d'urbanisme	densité urbaine (hab/ha)
Awala-Yalimapo	2,89
Cayenne	32,25
Iracoubo	3,76
Kourou	5,32
Régina	0,97
Roura	0,84
Saint-Georges	8,01

Tableau 25 – Densités urbaines des communes sans document d'urbanisme

Communes avec document d'urbanisme	densité zones de bâti isolé (hab/ha)	densité zones urbaines denses (hab/ha)
Mana	1	2,59
Macouria	1	3,75
Matoury	7	6,95
Montsinery-Tonnegrande	0,5	0,75
Rémire-Montjoly	7	12,91
Saint-Laurent-du-Maroni	7	21,35
Sinnamary	1	1,50

Tableau 26 – Densités urbaines des communes avec document d'urbanisme

Ces densités nous serviront par la suite à réaliser des prévisions d'évolution en surfaces des aires urbaines sur les différentes communes.

3.1.3. Adaptation pour les 3 scénarios et cas particuliers

En considérant les densités de population des différentes zones urbaines constantes sur la période 2009-2032, nous pouvons évaluer les évolutions en surfaces urbaines des différentes communes :

Communes sans document d'urbanisme :

$$\text{Augmentation_surface_urbaine} = (\text{Pop2032} - \text{Pop2009}) / \text{densité_urbaine}$$

Communes avec document d'urbanisme :

On considère que les zones « à urbaniser » des documents d'urbanisme sont entièrement recouvertes de tissu urbain dense, soit :

$$\text{Augmentation_surface_urbaine_dense} = \text{surface_à_urbaniser}$$

Où surface_à_urbaniser est la somme des surfaces 1AU et 2AU des PLU

On peut alors déduire la population logée dans ces zones :

$$\text{Pop1AU} + \text{Pop2AU} = \text{surface_à_urbaniser} * \text{densité_urbaine_zone_dense}$$

La population qui ne pourra pas être logée dans ces surfaces à urbaniser sera d'après nos hypothèses répartie sur des zones de bâti isolé, dont on peut à présent calculer la surface :

$$\text{Augmentation_surface_bâti_isolé} = (\text{Pop2032} - \text{Pop2009} - (\text{Pop1AU} + \text{Pop2AU})) / \text{densité_bâti_isolé}$$

Où (Pop2032 – Pop2009 - (Pop1AU + Pop2AU)) correspond à la population supplémentaire en 2032 qui ne pourra pas être logée dans les zones 1AU ou 2AU

On obtient alors les augmentations de surface suivantes :

Communes sans document d'urbanisme	population 2009 (hab)	surface urbaine supplémentaire 2032 hypothèse haute (m²)	surface urbaine supplémentaire 2032 hypothèse moyenne (m²)	surface urbaine supplémentaire 2032 hypothèse basse (m²)
Awala-Yalimapo	1306	6353850	4673426	2993002
Cayenne	57047	5800271	4266248	2732222
Iracoubo	2008	6358194	4676119	2995057
Kourou	25514	45022835	33116090	21207913
Régina	842	2140790	1573577	1004191
Roura	2594	41883928	30800796	19727832
Saint-Georges	4129	18816377	13839965	8863770

Tableau 27 – Surfaces urbaines supplémentaires des communes sans document d'urbanisme pour les 3 hypothèses de croissance

Communes avec document d'urbanisme	population 2009 (hab)	Surface 1AU + Surface 2AU (m²)	Surface supp* bâti isolé 2032 hypothèse haute (m²)	Surface supp bâti isolé 2032 hypothèse moyenne (m²)	Surface supp bâti isolé 2032 hypothèse basse (m²)
Mana	8823	13514214	153274367	93604367	47364367
Macouria	9096	9185268	26488365	16878365	7268365
Matoury	26383	21805725	30056842	16383985	2712556
Montsinery-Tonnegrade	2131	19526644	58588579	35358579	12138579
Rémire-Montjoly	18873	6582579	2912434	0	0
Saint-Laurent-du-Maroni	37524	8132668	166094679	115607536	65120393
Sinnamary	3196	918914	10508504	7368504	4218504

Tableau 28 – Surfaces urbaines supplémentaires des communes avec document d'urbanisme pour les 3 hypothèses de croissance

*surface supp : surface supplémentaire

3.2. Evaluation des surfaces de développement agricole

Dans les cas de l'extension des surfaces agricoles, celle-ci ne pouvant pas être reliée de façon simple à la croissance démographique, on choisit de poursuivre linéairement les tendances de croissance en surface observées grâce aux cartes d'occupation des sols ONF sur la période 2001 – 2008. Une volonté générale d'accroître le développement de l'agriculture sur la région, confirmée par plusieurs acteurs de l'aménagement du territoire, nous pousse à considérer ce scénario comme le scénario de croissance « moyenne » des surfaces agricoles. Nous détaillerons par la suite les modalités de réalisation des hypothèses de croissance haute et basse.

Calcul des surfaces d'extensions agricoles du scénario de croissance moyenne :

Afin d'obtenir les surfaces d'extension agricole sur la période 2008 - 2032, on calcule tout d'abord l'extension moyenne annuelle des surfaces agricoles par commune sur la période 2001 - 2008 :

$\text{Extension_agricole_annuelle_moyenne} = (\text{surface_agricole2008} - \text{surface_agricole2001}) / (2008-2001)$

Une fois calculée cette surface d'extension, en supposant l'augmentation linéaire des surfaces sur la période 2008-2032, on obtient les surfaces d'extension agricoles de chaque commune par la formule suivante :

$$\text{Augmentation_surface_agricole2032_hypothese_moyenne} = \text{Extension_agricole_annuelle_moyenne} * (2032 - 2008)$$

Calcul de l'extension des surfaces agricoles pour les scénarios de croissance haute et basse :

Nous choisissons pour calculer les surfaces d'extension agricoles des deux autres hypothèses de considérer qu'elles seront de 20% supérieures à celles de l'hypothèse moyenne pour l'hypothèse de croissance haute, et de 20% inférieures pour l'hypothèse de croissance basse.

Soit :

$$\begin{aligned} &\text{Augmentation_surface_agricole2032_hypothese_haute} \\ &= 1,2 * \text{Augmentation_surface_agricole2032_hypothese_moyenne} \end{aligned}$$

Et

$$\begin{aligned} &\text{Augmentation_surface_agricole2032_hypothese_basse} \\ &= 0,8 * \text{Augmentation_surface_agricole2032_hypothese_moyenne} \end{aligned}$$

Cela nous permet d'obtenir les surfaces d'extension agricoles suivantes :

Commune	augmentation surface agricole 2008 - 2032 hypothèse haute (m²)	augmentation surface agricole 2008 - 2032 hypothèse moyenne (m²)	augmentation surface agricole 2008 - 2032 hypothèse basse (m²)
Awala-Yalimapo	150195	125163	100130
Cayenne	0	0	0
Iracoubo	22455442	18712868	14970295
Kourou	59252901	49377418	39501934
Macouria	38293973	31911645	25529316
Mana	56837240	47364368	37891494
Matoury	730935	609113	487290
Montsinery- Tonnegrande	4890021	4075018	3260014
Régina	13371180	11142650	8914120
Rémire-Montjoly	245598	204665	163732
Roura	36258916	30215763	24172610
Saint-Georges	7452081	6210068	4968054
Saint-Laurent-du-Maroni	68905248	57421040	45936832
Sinnamary	26171031	21809192	17447354

Tableau 29 – Surfaces d'extension agricole par commune pour les 3 hypothèses de croissance

3.3. Spatialisation des prévisions : méthodologie et résultats

Après avoir obtenu les différentes surfaces d'extension urbaines et agricoles par commune, nous devons spatialiser ces résultats afin de réaliser des cartes prévisionnelles d'occupation des sols à échéance 2032.

Voici les modalités de réalisation de ces cartes, différentes pour les communes avec et sans document d'urbanisme disponible.

3.3.1. Zones d'extension urbaine

3.3.1.1. Communes avec document d'urbanisme

Evolution des zones urbaines denses :

Lorsque nous possédions le PLU d'une commune, nous avons réalisé les cartes comme suit :

- Les zones 1AU, sensées s'urbaniser en premier lieu car plus proches des réseaux (eau, énergie, assainissement) sont considérées comme entièrement recouvertes de tissu urbain dense en 2022.
- Les zones 2AU, plus éloignées des réseaux, se retrouvent quant à elles entièrement urbanisées en 2032.

Evolution des zones de bâti isolé :

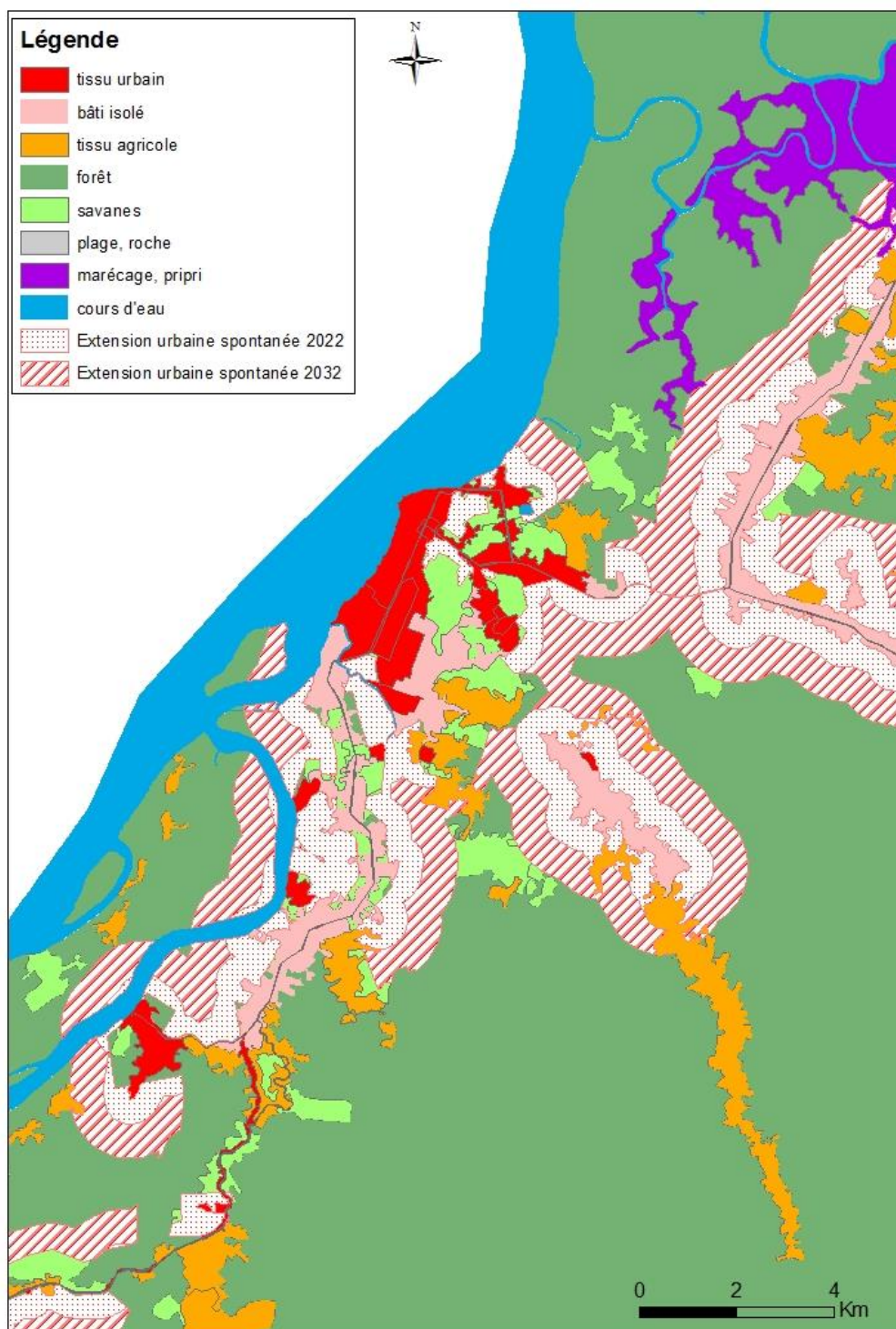
Afin de modéliser le développement spontané de zones urbaines d'habitat isolé, nous avons tout d'abord isolé les zones urbaines apparues entre 2001 et 2008, sur les cartes ONF.

Considérant que le tissu urbain de bâti isolé se développerait plus probablement aux alentours de ces zones, nous avons utilisé l'outil « buffer » d'ArcGis sur ces zones afin de les entourer de zones « tampon » permettant de représenter les surfaces d'extension urbaine spontanée.

Deux critères ont été respectés lors de cette opération :

- Les zones d'extension urbaine spontanée ne pouvaient se développer que sur des zones préexistantes de savane ou de forêt.
- La taille du buffer devait permettre d'obtenir une surface finale des zones d'extension correspondant aux prévisions d'extension de surface en bâti isolé précédemment décrites.

Voici en exemple la réalisation des zones « tampon » de bâti isolé sur la commune de Saint-Laurent-du-Maroni :



Carte 7 – Construction des zones d’extension urbaines spontanées sur la commune de Saint-Laurent-du-Maroni – hypothèse de croissance moyenne

3.3.1.2. Commune sans document d’urbanisme

Pour les communes sans document d’urbanisme disponible, nous avons procédé de façon identique aux extensions en bâti isolé décrites ci-dessus. Les surfaces des zones d’extension urbaine finales devaient correspondre aux surfaces totales d’extension du tissu urbain prévues pour les communes concernées.

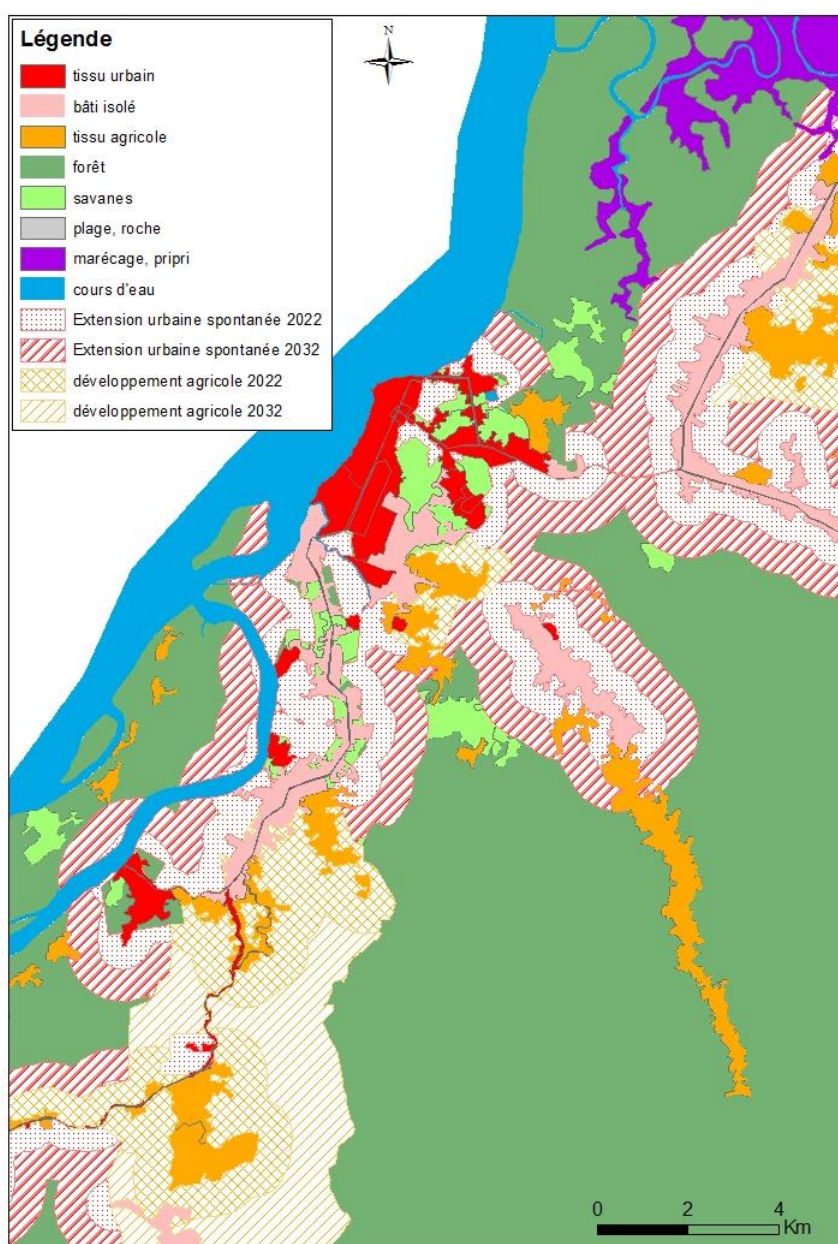
3.3.2. Zones d'extension agricole

3.3.2.1. Communes avec document d'urbanisme

Lorsque nous disposons de documents d'urbanisme, nous avons choisi de recouvrir de tissu agricole uniquement les zones réservées à l'agriculture sur ces documents.

En tenant compte des prévisions d'augmentation des surfaces agricoles par commune, nous nous sommes rendus compte que les zones agricoles des PLU avaient toujours une surface supérieure aux surfaces d'extension prévues dans nos trois hypothèses.

Ainsi, nous avons réalisé un buffer autour des zones agricoles préexistantes (tissu agricole 2008), et sélectionné comme zones d'extension agricole uniquement les surfaces comprises à l'intérieures des zones agricoles données par les PLU, les surfaces finales d'extension devant correspondre aux surfaces prévues par nos trois hypothèses.



Carte 8 - Construction des zones d'extension agricole sur la commune de Saint-Laurent-du-Maroni – hypothèse de croissance moyenne

3.3.2.2. *Communes sans document d'urbanisme*

Lorsque nous ne connaissions pas les zones réservées à l'agriculture sur la commune, nous avons simplement réalisé un buffer sur les zones agricoles préexistantes, et sélectionné les surfaces d'extension qui se développaient sur les zones en forêt ou savane, les autres types de zones (urbaines, marécages...) étant considérées comme inaptées au développement de l'agriculture.

De façon identique aux communes avec document d'urbanisme, les surfaces finales d'extension des zones agricoles ainsi obtenues devaient correspondre aux surfaces d'extension prévues par nos trois hypothèses de développement.

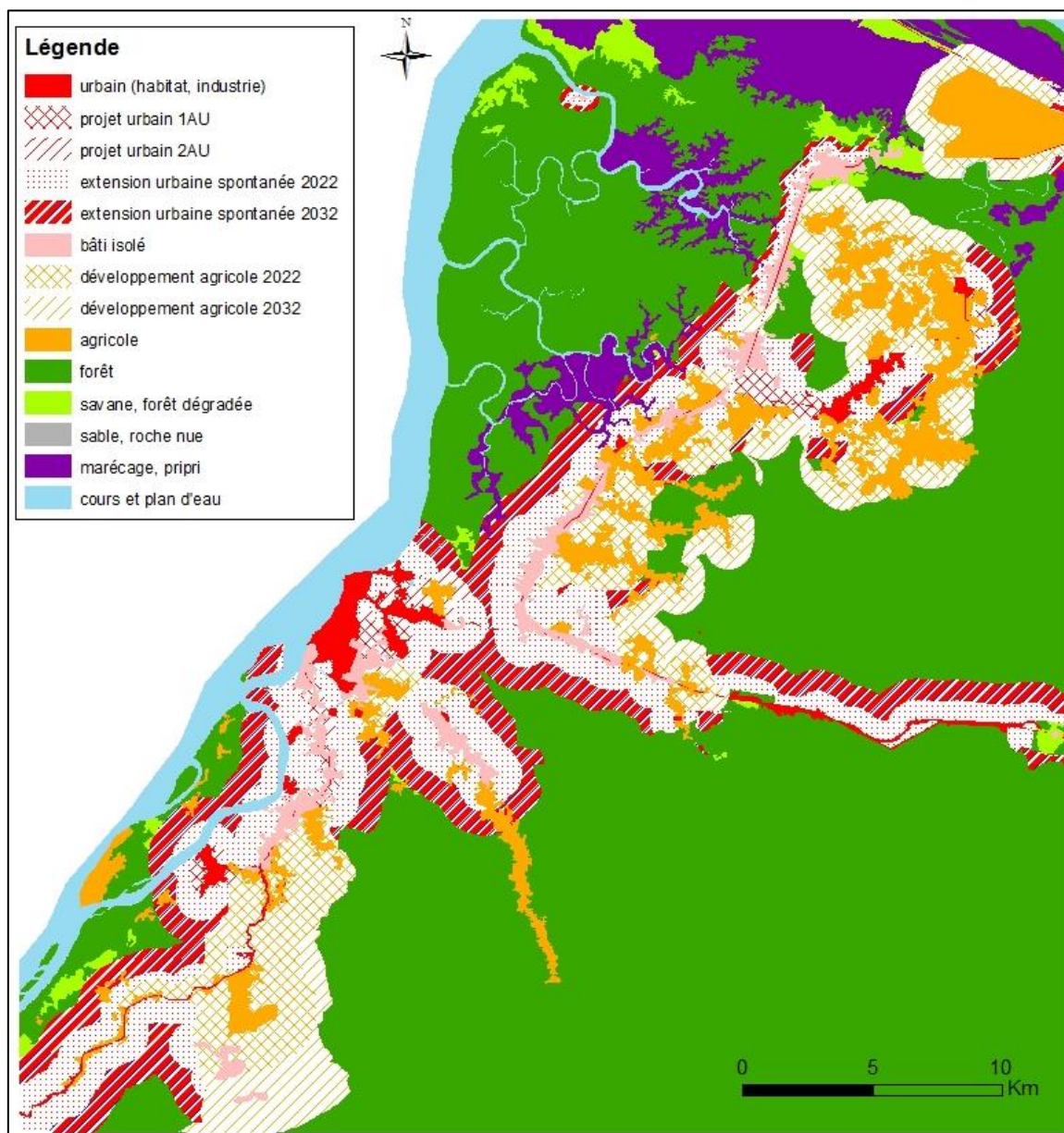
4. Bilan de l'étude : 3 cartes d'occupation des sols à échéance 2032

Après avoir localisé les surfaces d'extensions urbaines et agricoles, nous avons obtenu trois cartes, correspondant aux trois hypothèses de développement (haute, moyenne et basse) et représentant l'occupation des sols sur le littoral Guyanais en 2032, suivant les trois hypothèses.

4.1. Présentation des résultats

Voici pour exemple les cartes finales obtenues pour la région de Saint-Laurent-du-Maroni :

4.1.1. Carte 2032 hypothèse haute



Carte 9 – Occupation des sols 2032 sur la zone de Saint-Laurent-du-Maroni – Hypothèse de croissance haute

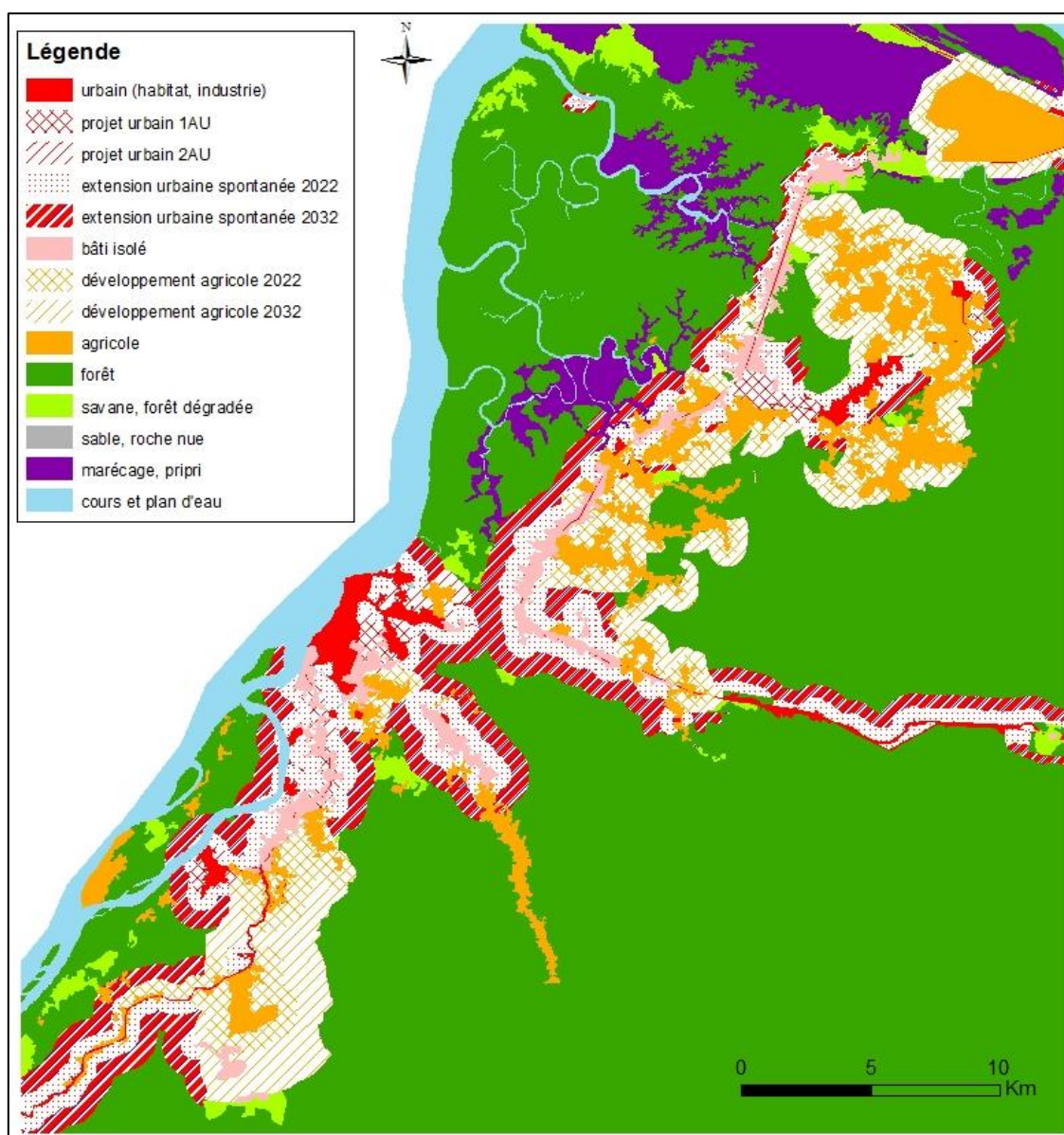
Nous pouvons à présent observer les évolutions de surfaces en forêt et savanes sur la période 2008 – 2032, afin de connaître l'impact du scénario de croissance haute sur ces écosystèmes :

	2008	2032
Surface de forêt (ha)	8026123	7945499
Surface de savanes (ha)	58690	31484

Les extensions de surfaces urbaines et agricoles sur la période 2008 – 2032 auront donc entraîné une déforestation globale pour toute la Guyane de 80624 ha, et une diminution des surfaces en savanes de 27206 ha.

On notera que pour les forêts, les surfaces déforestées représentent 1% de la surface forestière totale 2008, alors que pour les savanes, la surface qui disparaît représente 46,4% de la zone de savanes initiale.

4.1.2. Carte 2032 hypothèse moyenne



Carte 10 - Occupation des sols 2032 sur la zone de Saint-Laurent-du-Maroni – Hypothèse de croissance moyenne

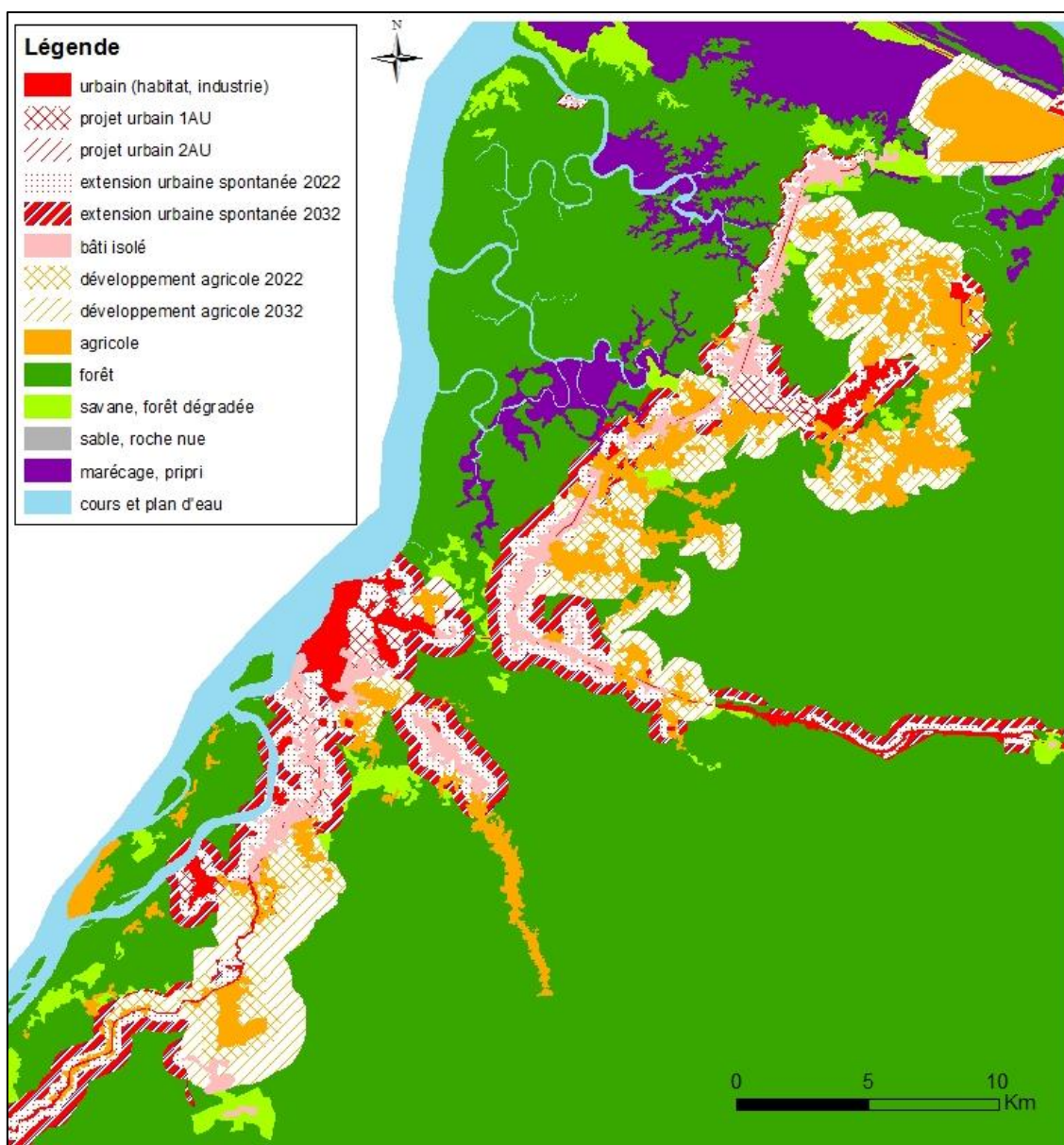
Comme pour l'hypothèse de croissance haute, nous pouvons observer les évolutions de surfaces en forêt et savanes sur la période 2008 – 2032, afin de connaître l'impact du scénario de croissance moyenne sur ces écosystèmes :

	2008	2032
Surface de forêt (ha)	8026123	7967433
Surface de savanes (ha)	58690	35508

Les extensions de surfaces urbaines et agricoles sur la période 2008 – 2032 auront donc entraîné une déforestation globale pour toute la Guyane de 58690 ha, et une diminution des surfaces en savanes de 17969 ha.

On notera que pour les forêts, les surfaces déforestées représentent 0,7% de la surface forestière totale 2008, alors que pour les savanes, la surface qui disparaît représente 39,2% de la zone de savanes initiale.

4.1.3. Carte 2032 hypothèse basse



Carte 11 - Occupation des sols 2032 sur la zone de Saint-Laurent-du-Maroni – Hypothèse de croissance basse

Comme pour les deux hypothèses précédentes, on observe les évolutions de surfaces en forêt et savanes sur la période 2008 – 2032, afin de connaître l'impact du scénario de croissance basse sur ces écosystèmes :

	2008	2032
Surface de forêt (ha)	8026123	7988566
Surface de savanes (ha)	58690	39825

Les extensions de surfaces urbaines et agricoles sur la période 2008 – 2032 auront donc entraîné une déforestation globale pour toute la Guyane de 37557 ha, et une diminution des surfaces en savanes de 18865 ha.

On notera que pour les forêts, les surfaces déforestées représentent 0,5% de la surface forestière totale 2008, alors que pour les savanes, la surface qui disparaît représente 32,1% de la zone de savanes initiale.

4.2. Discussion

Ces cartes prospectives ont été réalisées à partir d'hypothèses qui prennent en compte les informations, qualitatives et quantitatives, que nous avons pu recueillir au cours de l'étude. Cependant il serait intéressant d'intégrer d'autres paramètres au modèle d'évolution de l'occupation des sols développé ici, afin de l'améliorer. En effet, d'autres facteurs influençant l'aménagement du territoire futur pourraient être pris en compte, ce qui n'a pas été fait ici par manque de données suffisantes.

Tout d'abord, il serait intéressant lorsque des versions de ceux-ci seront disponibles, de récupérer et d'intégrer les documents d'urbanismes de toutes les communes littorales afin d'obtenir une meilleure vision des futures zones urbaines et agricoles sur chaque commune.

Concernant la partie Sud du territoire, il serait nécessaire de prendre en compte les impacts de l'activité minière, à la fois légale et illégale, en termes de déforestation.

D'autre part, l'ouverture du pont sur l'Oyapock au niveau de la ville de Saint Georges entrainera certainement d'importantes modifications des dynamiques de croissance locales, facteur qui n'a pas été pris en compte dans notre étude où la zone Est est considérée comme relativement peu dynamique tant au niveau urbain qu'agricole.

Enfin, les politiques tant régionales que communales en matière d'aménagement seront nécessairement amenées à évoluer dans les années à venir, avec de possibles modifications des documents d'urbanismes déjà existants. De plus, des efforts de densification de l'urbanisation sont déjà envisagés, ce qui impliquerait pour notre modèle la nécessité de réviser des densités urbaines futures, pour l'instant établies en se basant sur les densités existantes.

Bibliographie

- *La Biomasse, source de « croissance verte » pour la Guyane* – Claude ROY – CGAAER n°1978-2 – Mars 2011
- *Projections de population à l'horizon 2040* - INSEE – Premiers Résultats N°71 – Janvier 2011
- *Guyane : un développement sous contraintes* – INSEE – AntianEchos n°11 – Novembre 2008
- *Schéma d'Aménagement Régional de Guyane* – Conseil Régional de Guyane – Novembre 2000
- *Diagnostic territorial du Bas-Maroni* – ARUAG – Octobre 2009
- *Schéma de Cohérence Territoriale du Centre Littoral* – dossier d'approbation – CCCL – 2011
- *Guyane – un développement sous contraintes* – IEDOM – juin 2008
- *Enjeux du développement urbain de la Guyane* – Analyse de la consommation d'espace/formes urbaines et modes d'habiter – DDE 973/Atelier Marniquet Associés – Janvier 2009

- *Atlas des paysages de Guyane* – Direction Régionale de l’Environnement de Guyane, Vue D’Ici & ARUAG – Août 2007
- *Recensement et analyse des zones d’habitat illicite sur le littoral guyanais* – rapport final – ARUAG – décembre 2010
- *La Communauté de Communes de l’Ouest Guyanais : un territoire jeune et attractif à développer* – INSEE/CCOG – Juin 2009

Cartes issues des documents d’urbanisme (PLU, POS) des communes de Macouria, Mana, Matoury, Montsinery-Tonnegrande, Rémire-Montjoly, Saint-Laurent-du-Maroni et Sinnamary.

ANNEXES

Tableaux des acteurs rencontrés :

Acteurs GUYASIM	Contacts	Téléphone	Adresse	Mail
ADEME	Pierre COURTIADÉ	05 94 29 73 64	28 Rue Léopold Héder,	pierre.courtiade@ademe.fr
AUDeG	Mireille RIUS	05 94 28 49 20	Rond-point Mirza, 97300	
	Juliette GUIRADO		Cayenne	juliette.guirado@audeg.fr
BRGM	Paul LECOMTE	05 94 30 06 24 06 94 24 19 34	BRGM, Service géologique régional Guyane, Domaine de Suzini – Route	p.lecomte@brgm.fr
CCCL	Nadine CLERIL	05 94 28 85 28 06 94 22 52 38	Chemin la Chaumière, Quartier BALATA,	nadine.cleril@cccl.fr
DAAF	Thomas REQUILLART	05 94 29 63 67	Parc Rebard -rte de Baduel - BP 5002 97305	thomas.requillart@agriculture.gouv.fr
DEAL	Sébastien LINARES	05 94 29 80 25	Impasse Buzaré - BP 6003 97306 Cayenne Cedex	sebastien.linares@developpement-durable.gouv.fr
Département Guyane - conseil général	Serge MONDESIR Jean-Pierre PARSEMAIN	05 94 29 56 35	CONSEIL GENERAL DE LA GUYANE, Place Leopold Héder, B.P. 5021, 97397	serge.mondésir@cg973.fr jean-pierre.parsemain@cg973.fr
EPAG	(Albert BRUYERE) Nicolas DURUPT	06 94 22 08 95 05 94 38 53 14	1 av des jardins de Sainte-Agathe, 97355 TONATE	a.bruyere@epag.fr n.durupt@epag.fr
IRD	Valérie MOREL	05 94 29 92 62	Centre IRD Cayenne, Route de Montabo, BP 165,	valerie.morel@ird.fr
ONF	Olivier BRUNAUX	06 94 20 75 46	ONF Guyane, Direction régionale, Réserve	olivier.brunaux@onf.fr
Région Guyane - conseil régional	Jérôme LEFOL Laurent LABARTHE	05 94 28 80 04 05 94 27 12 36	Cité Administrative Régionale Carrefour de suzini, 4179,	jerome.lefol@cr-guyane.fr Laurent.LABARTHE@cr-guyane.fr
CCOG	Claude FABRI	05 94 34 40 48 06 94 23 55 11	Mana - premier bâtiment sur la droite après le rond point d'entrée après la station service (bâtiment	claudio.fabri@ccog.fr
Parc Amazonien	Pierre JOUBERT	06 94 38 34 99	1 rue Lederson 97354 Remire-Montjoly	nicolas.surugue@guyane-parcnational.fr pierre.joubert@guyane-parcnational.fr
Mairie de Kourou	Karl MINGER	06 94 22 11 00		dir.patrimoine@kourou.info
Mairie de Remire	Christophe VARVOIS			
Mairie de Saint Laurent du Maroni	Floriane HAINAUT	06 94 42 73 75 05 94 34 48 00	Rue Jean-Jacques Rousseau	florianehainaut@saintlaurentdumaroni.fr
Mairie de Sinnamary	Raissa JUDICK	06 94 20 63 94 05 94 34 69 84	Hotel de ville, 1 rue du Calvaire, 97315	raissa.judick@ville-sinnamary.fr
Mairie de Mana	Gustave MARCILLON	06 94 16 21 30 05 94 27 90 58		gustave.marcillon@mairie-mana.fr
Mairie de	Karim WEIMERT	06 94 40 51 95		urbanisme@villedemacouria.fr
Mairie de Matoury	Line RAPHAEL	06 94 21 76 45 05 94 35 32 32		line.rafael@mairie-matoury.fr
Mairie de Saint-Georges de l'Oyapock	Jean-Michel HYASINE	06 94 13 20 55 05 94 37 00 44		urbanisme@oyapock.fr

Prévisions démographiques régionales :

HYPOTHESE HAUTE

Année	2009	2012	2017	2022	2027	2032
Population de Guyane (nb habitants)	224469	249523	300312	365574	450160	560667

HYPOTHESE BASSE

Année	2009	2012	2017	2022	2027	2032
Population de Guyane (nb habitants)	224469	238839	265935	297682	335038	379174

Prévisions démographiques par commune, suivant les 3 hypothèses de croissance :

HYPOTHESE HAUTE

Commune	facteur de croissance	2009	2012	2017	2022	2027	2032
Saint-Laurent du Maroni	1,068	37524	45738	63614	88477	123057	171153
Mana	1,049	8823	10174	12901	16359	20745	26305
Sinnamary	1,014	3196	3331	3568	3822	4094	4385
Macouria	1,060	9096	10825	14467	19334	25839	34532
Matoury	1,038	26383	29528	35626	42983	51859	62569
Montsinery-Tonnégrande	1,074	2131	2637	3761	5364	7651	10912
Rémire-Montjoly	1,019	18873	19997	22022	24251	26707	29411
Cayenne	1,012	57047	59197	62961	66965	71223	75752
Kourou	1,029	25514	27814	32118	37088	42827	49454
Awala-Yalimapo	1,039	1306	1465	1773	2146	2597	3144
Iracoubo	1,035	2008	2224	2638	3128	3709	4398
Régina	1,010	842	866	909	953	1000	1049
Roura	1,038	2594	2900	3491	4203	5061	6093
Saint-Georges	1,069	4129	5046	7047	9843	13747	19201
Ouanary	0,988	82	79	75	71	67	63

HYPOTHESE MOYENNE

Commune	facteur de croissance	2009	2012	2017	2022	2027	2032
Saint-Laurent du Maroni	1,058	37524	44379	58697	77635	102683	135812
Mana	1,040	8823	9921	12062	14666	17832	21682
Sinnamary	1,011	3196	3298	3477	3664	3862	4071
Macouria	1,050	9096	10523	13417	17106	21809	27805
Matoury	1,031	26383	28896	33627	39134	45541	52998
Montsinery-Tonnégrande	1,062	2131	2556	3461	4686	6344	8589
Rémire-Montjoly	1,015	18873	19739	21272	22924	24705	26624
Cayenne	1,009	57047	58678	61499	64457	67556	70805
Kourou	1,023	25514	27322	30624	34325	38473	43123
Awala-Yalimapo	1,031	1306	1433	1672	1951	2277	2658
Iracoubo	1,028	2008	2180	2499	2865	3285	3766
Régina	1,007	842	860	892	925	959	994
Roura	1,030	2594	2838	3297	3830	4448	5167
Saint-Georges	1,058	4129	4895	6499	8630	11459	15215
Ouanary	0,992	82	80	77	74	71	68

HYPOTHESE BASSE

Commune	facteur de croissance	2009	2012	2017	2022	2027	2032
Saint-Laurent du Maroni	1,044	37524	42668	52855	65474	81106	100471
Mana	1,029	8823	9615	11097	12807	14780	17058
Sinnamary	1,007	3196	3264	3381	3501	3627	3756
Macouria	1,037	9096	10150	12184	14627	17558	21078
Matoury	1,022	26383	28155	31377	34968	38969	43428
Montsinery-Tonnégrande	1,048	2131	2453	3101	3921	4957	6267
Rémire-Montjoly	1,010	18873	19457	20470	21536	22657	23837
Cayenne	1,006	57047	58126	59969	61871	63834	65858
Kourou	1,016	25514	26762	28978	31378	33977	36791
Awala-Yalimapo	1,022	1306	1396	1559	1741	1944	2172
Iracoubo	1,020	2008	2128	2344	2582	2845	3134
Régina	1,005	842	854	875	896	917	939
Roura	1,022	2594	2766	3078	3425	3812	4242
Saint-Georges	1,044	4129	4705	5848	7268	9034	11229
Ouanary	0,995	82	81	79	77	75	73

INSEE

Solde naturel et du solde migratoire dans la croissance démographique de la Guyane

Unité : %

	Contribution du solde naturel	Contribution du solde migratoire
1990-2007	2,67	1,05
2007-2020	2,55	0,89
2020-2030	2,39	0,56
2030-2040	2,25	0,39

Source : Insee, Omphale 2010

Évolution de la population guyanaise entre 2007 et 2040 selon le scénario central et les six variantes retenues

Unité : nombre

	Central	Espérance de vie basse	Espérance de vie haute	Fécondité basse	Fécondité haute	Migrations basses	Migrations hautes
2007	213 000	213 000	213 000	213 000	213 000	213 000	213 000
2008	221 000	221 000	221 000	221 000	221 000	219 000	223 000
2009	230 000	230 000	230 000	229 000	230 000	226 000	233 000
2010	238 000	238 000	238 000	238 000	238 000	232 000	243 000
2011	246 000	246 000	246 000	246 000	247 000	239 000	254 000
2012	255 000	255 000	255 000	254 000	256 000	246 000	264 000
2013	264 000	264 000	264 000	263 000	265 000	253 000	275 000
2014	273 000	273 000	273 000	272 000	274 000	259 000	286 000
2015	282 000	282 000	282 000	280 000	284 000	266 000	298 000
2016	291 000	291 000	291 000	289 000	293 000	273 000	309 000
2017	300 000	300 000	301 000	298 000	303 000	281 000	320 000
2018	310 000	310 000	311 000	308 000	313 000	288 000	333 000
2019	320 000	320 000	321 000	317 000	323 000	295 000	345 000
2020	330 000	330 000	331 000	327 000	334 000	303 000	358 000
2021	341 000	340 000	341 000	337 000	344 000	311 000	370 000
2022	351 000	350 000	351 000	347 000	355 000	319 000	383 000
2023	362 000	361 000	362 000	357 000	366 000	327 000	397 000
2024	373 000	372 000	373 000	368 000	378 000	335 000	410 000
2025	384 000	383 000	384 000	378 000	389 000	343 000	424 000
2026	395 000	394 000	396 000	389 000	401 000	352 000	438 000
2027	406 000	405 000	407 000	400 000	412 000	360 000	452 000
2028	418 000	417 000	419 000	411 000	425 000	369 000	467 000
2029	430 000	429 000	431 000	422 000	437 000	377 000	482 000
2030	442 000	440 000	443 000	434 000	450 000	386 000	497 000
2031	454 000	452 000	455 000	445 000	463 000	395 000	513 000
2032	466 000	464 000	468 000	457 000	476 000	404 000	528 000
2033	479 000	477 000	481 000	469 000	489 000	414 000	544 000
2034	492 000	490 000	494 000	481 000	503 000	423 000	561 000
2035	505 000	503 000	507 000	494 000	517 000	433 000	577 000
2036	518 000	516 000	520 000	506 000	531 000	442 000	594 000
2037	531 000	529 000	534 000	518 000	545 000	452 000	611 000
2038	545 000	542 000	548 000	531 000	560 000	462 000	629 000
2039	559 000	556 000	562 000	544 000	575 000	472 000	647 000
2040	574 000	570 000	577 000	558 000	590 000	482 000	665 000

Source : Insee, Omphale 2010



PROGRAMME GUYASIM

Qualité biologique des sols

SOLICAZ SARL c/o Guyane
Technopole
16 bis, rue du 14 juillet
97 300 Cayenne
Tél. : 0694 42 21 13
Fax : 0594 30 56 32
Mèl : elodie.brunstein@solicaz.fr
www.solicaz.fr

GUYASIM : QUALITÉ BIOLOGIQUE DES SOLS

INTRODUCTION

Ce travail se positionne dans les nouveaux grands enjeux environnementaux qui attribuent une valeur aux services rendus par les écosystèmes et qui considèrent le concept de « service écosystémique » comme la meilleure perspective complémentaire à la notion de valeur intrinsèque, plaçant ainsi pour une utilisation de l'évaluation des services comme critère de décision en matière de gestion des territoires.

Il est aujourd'hui bien admis que les écosystèmes, outre qu'ils fournissent tout l'oxygène que nous respirons (la ressource naturelle la plus vitale), sont également sources de très nombreux « services » pour l'Homme, gratuits tant qu'ils sont préservés. Depuis la Conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement de 1992 qui s'est tenue à Rio de Janeiro au Brésil et avec le *Millennium Ecosystems assessment*, les services écologiques commencent à être quantifiés, et certains tentent d'évaluer leur valeur économique. Ces services, classés en 3 catégories (production, régulation, culturels) sont multiples mais reposent sur un nombre plus limité de **fonctions écosystémiques** (ou fonctions de soutien) nécessaires à leur production et à leur maintien (cycle des nutriments, cycle du carbone, production primaire, formation des sols, etc.). Selon ce même rapport, la quasi-totalité des services rendus seraient garantis entre autre par un maintien des cycles biogéochimiques à l'équilibre et en particulier ceux du carbone et de l'azote. En effet, les modifications de ces cycles sont celles qui entraînent potentiellement les conséquences les plus importantes en termes d'altération de services (émissions de gaz à effet de serre, baisse de productivité primaire...). Dans les deux cas, les processus impliqués sont pour le carbone, la photosynthèse et la respiration (dont celle des microorganismes du sol) et, pour l'azote, l'ensemble des processus microbiens du sol (fixation, nitrification et dénitrification). Ces processus étant assurés uniquement par des fonctions biologiques.

Dans ce contexte, l'étude des fonctions écosystémiques de soutien, constituant l'ensemble des processus biologiques naturels de fonctionnement des écosystèmes, permettrait d'évaluer leur « potentiel écologique », c'est-à-dire leur capacité à assurer l'ensemble de leurs services.

Faut-il évaluer les écosystèmes en fonction des services qu'ils rendent ou plutôt en fonction de leur « potentiel écologique » estimé à partir de l'analyse de fonctions de soutien clefs? Il semble aujourd'hui plus pertinent d'évaluer des fonctions de soutien clefs plutôt que les

services écosystémiques eux-mêmes. En effet, elles sont plus intégratives et un nombre limité de fonctions peut traduire l'extrême complexité des processus et structures des systèmes. Il existe aujourd'hui un large consensus sur le rôle central joué par les sols dans les fonctions de soutien clefs. En particulier, il est de plus en plus reconnu que la qualité des sols (dans son fonctionnement microbien) - ou « capital naturel des sols » (Robinson et al, 2009) - pourrait déterminer en bonne partie la capacité d'un écosystème donné à assurer l'ensemble de ses services (Ritz et al, 2009, Benett et al 2010, Paetzold et al 2010).

Dans une approche systémique d'évaluation des services, la stratégie proposée dans ce projet repose sur le principe que l'évaluation de l'ensemble des services rendus par écosystème donné peut être appréhendée par une évaluation des fonctions de soutien nécessaires à leur maintien. Parmi ces fonctions de soutien, celles liées aux cycles biogéochimiques du C et du N dans les sols (respiration, dénitrification et nitrifications aérobie et anaérobie) peuvent être considérées comme des fonctions clefs (Bastida et al 2008, Schimann et al. 2012). La mesure de ces fonctions clefs utilisées comme **bio indicateurs** dans les systèmes de référence donne une image de leur « potentiel écologique » dont la variation peut être alors évaluée dans des systèmes modifiés.

L'objectif de cette étude est donc d'évaluer le « potentiel écologique » de différents écosystèmes forestiers tropicaux naturels de Guyane estimé à partir de l'analyse des fonctions de support, en particulier celles ayant trait au fonctionnement biologique des sols (**qualité des sols dans son fonctionnement microbien**). Cette étude permet de débiter la mise en place d'un réseau de zones de références auxquelles il sera possible de se référer pour évaluer:

- la modification des services de situations perturbées (forêts exploitées à différents niveaux d'intensité);
- la modification des services lors d'un changement d'usage de terres à vocation agricole ;
- le type de pratique agricole minimisant l'altération des services.

Les moyens mis en œuvre pour réaliser ces évaluations sont l'utilisation des bio-indicateurs de la qualité des sols appréhendée *via* son fonctionnement microbien.

Qualité biologique des sols:

La qualité des sols se définit comme la capacité des sols à remplir leurs différentes fonctions.
Evaluer la qualité d'un sol, c'est interpréter ses propriétés pour en rechercher les

potentialités et les facteurs limitants afin de répondre à un ensemble de questions concernant son utilisation. Cette évaluation peut être réalisée via l'étude de l'activité biologique des sols. En effet, des travaux récents montrent que **les processus microbiens du sol sont les bioindicateurs les plus pertinents de la qualité des sols** (Schimann et al (2012), Ritz et al. (2009), voir aussi Bastida et al. 2008 pour synthèse).

Les micro-organismes du sol interviennent dans de nombreuses transformations biogéochimiques, de la fixation de l'azote atmosphérique à la décomposition des matières organiques (impact direct sur la disponibilité en éléments nutritif des sols, notamment l'azote, un élément clef de la fertilité), contribuant ainsi à l'établissement d'un certain niveau de fertilité et finalement à la productivité primaire nette. **Le sol est donc un système vivant dans lequel les micro- organismes ont un rôle clef à travers la réalisation de fonctions clefs.**

Les microorganismes offrent une très grande diversité métabolique qui, bien évidemment, ne peut pas être prise en compte de manière exhaustive. Il est donc nécessaire de **choisir des activités microbiennes** qui rendent compte du fonctionnement global du sol. Ces activités doivent être choisies selon trois types de critères: (1) l'importance agronomique et écologique des flux générés, (2) la représentativité par rapport à l'ensemble de la communauté microbienne du sol (Schimann et al 2012) et, (3) l'accessibilité technique à la mesure des activités choisies. Schlöter et al (2003) considèrent dans ce contexte que les **bio indicateurs clefs** à prendre en compte sont ceux se référant aux **cycles du carbone (C) et de l'azote (N) dans les sols, cycles clefs dans la fertilité des sols.**

La respiration (cycle du C), la dénitrification et la nitrification (cycle du N) répondent à ces critères.

En particulier, les fonctions de respiration, de dénitrification et de nitrification sont portées par une abondance et une diversité d'organismes suffisantes pour être représentatives du système sol. Enfin, elles présentent l'avantage de se trouver dans des proportions très différentes dans le sol: la communauté dénitrifiante, principalement bactérienne, représente 10 à 30 % de la communauté hétérotrophe du sol comprenant bactéries et champignons ; la communauté nitrifiante représentant quant à elle entre 1 et 5 % de la communauté bactérienne totale (Cavigelli et Robertson, 2000).

- La Respiration :

La respiration microbienne du sol concerne l'ensemble des micro-organismes dans leur diversité et abondance. La mesure de respiration vient en complément des analyses chimiques

de matière organique (teneur en MO et C/N). Elle nous renseigne sur la **capacité de la communauté microbienne** hétérotrophe du sol à **dégrader la matière organique**. Elle peut aussi être considérée comme un **indicateur de la biomasse microbienne totale active du sol** (Anderson and Domsch, 1978) et donc de sa capacité biotique. Cette dernière est directement corrélée à la capacité du sol à fournir du carbone métabolisable.

- **La nitrification et la dénitrification :**

Le cycle de l'azote est un bon exemple de la très grande importance agronomique et écologique des organismes qui vivent dans le sol. En effet, divers microorganismes décomposent la matière organique (MO) pour libérer l'ammonium (NH_4^+) dans le sol, forme d'azote assimilable par les plantes. Ensuite, un autre groupe de microorganismes du sol transforme l'ammonium en nitrates (NO_3^-) lors de la **nitrification ; les nitrates représentant la deuxième source d'azote facilement assimilable par les plantes**. Ces 2 étapes du cycle de l'azote s'appellent **la minéralisation**; On comprend bien l'importance de **la nitrification** en termes d'impact sur **la disponibilité en azote du sol (apports des éléments nutritifs azotés aux cultures) et donc sur la productivité primaire des écosystèmes**.

Nous avons pu mettre en évidence (PO-Feder Niant SolicaZ) que contrairement aux connaissances que l'on a sur la nitrification en milieu tempéré, il existerait deux types de communautés de nitrifiants en milieu tropical, une, aérobie et l'autre anaérobie. Cette nitrification anaérobie existe grâce à la présence des éléments oxydo-réducteurs tels que le manganèse, le fer ou l'aluminium qui jouent le rôle d'accepteurs d'électrons comme le fait l'oxygène en milieu aérobie. Ces deux communautés travailleraient en tandem lors des alternances saisonnières. La nitrification se réaliserait donc soit quand le milieu est bien aéré en saison sèche (voie aérobie), soit lorsque le sol est inondé (voie anaérobie), ce qui permettrait une production de nitrate tout au long de l'année.

L'étape finale du cycle de l'azote s'appelle la **dénitrification**, au cours de laquelle un autre groupe de bactéries **transforment le nitrate en gaz azoté qui est libéré dans l'atmosphère sous forme N_2 et N_2O** . Cette étape se déroule principalement lorsque le sol est saturé d'eau et concourt à une perte d'azote minéral dans les sols. On comprend donc bien également l'importance que peut avoir cette fonction en termes de **perte de fertilité azotée du sol et d'émission de gaz à effet de serre** mais également en termes de productivité primaire.

Matériel et Méthodes

Types d'analyses fournies

Notre choix s'est porté sur des activités potentielles qui sont moins fluctuantes que les activités réelles parce que peu sensibles à des facteurs à variations spatio-temporelles courtes (Schimann et al. 2012) ce qui permet donc des comparaisons inter sites.

La respiration :

Mesurée dans les sols sur des incubations de très courtes durées et après apport d'une quantité non limitante de carbone sous forme glucose selon une technique modifiée à partir du protocole proposé par Anderson et Domsch (1978), « Substrate Induced Respiration». La mesure est réalisée par chromatographie en phase gazeuse (microcatharomètre Varian CP-4900).

Les mesures de respiration potentielle sont prises comme un *proxi* de la capacité biotique du sol (biomasse microbienne active que peut contenir un sol, caractéristique de ce sol).

La dénitrification :

Mesurée dans les sols sur des incubations de très courtes durées en présence d'acétylène permettant de bloquer l'activité N_2O -réductase. Elle est mesurée en condition potentielle vis-à-vis de l'accepteur d'électrons (nitrate) et du donneur d'électrons (carbone organique, Schimann, 2012) par chromatographie en phase gazeuse (microcatharomètre Varian CP-4900).

Les mesures de dénitrification potentielle rendent compte de la capacité à perdre de l'azote du sol. De plus, cette fonction peut être considérée comme indicateur (i) du niveau de diversification de la communauté microbienne du sol car elle est portée par un grand nombre de microorganismes phylogénétiquement très éloignés (Shapleigh, 2006; Throbäck et al., 2004) et, (ii) du fonctionnement de tous les microorganismes impliqués dans le cycle du N ; les bactéries fixatrices de N et nitrifiantes étant également connues pour dénitrifier (Falk et al., 2010; Wrage et al., 2001). Enfin cette fonction intègre un grand nombre de paramètres environnementaux clefs justifiant ainsi son choix de fonction bio-indicatrice (Tiedje, 1984).

La nitrification aérobie :

Mesurée dans les sols sur des incubations de très courtes durées avec révélation du nitrate produit par dénitrification (Schimann et al. 2012) en condition potentielle (source d'ammonium non limitante et en présence d'oxygène) par chromatographie en phase gazeuse (microcatharomètre Varian CP-4900).

La nitrification anaérobie :

Est plus complexe à mesurer car la nitrification anaérobie et la dénitrification sont deux activités microbiennes se réalisant dans les mêmes conditions d'anaérobiose, l'une formant du nitrate et un peu de N_2O à partir du NH_4^+ et l'autre, transformant le nitrate en N_2O et N_2 . Dans les mêmes conditions, il y a donc simultanément formation de nitrate par nitrification et perte de nitrate par dénitrification. Il était donc nécessaire de bloquer l'une ou l'autre de ces activités par des inhibiteurs chimiques spécifiques pour déterminer l'action de chaque activité sur le bilan N_2O et NO_3^- .

Les mesures de nitrification potentielle rendent compte de la capacité à fournir du nitrate, (élément nutritif pour les plantes) soit en milieu aéré (nitrification aérobie), soit en milieu saturé en eau (nitrification anaérobie);

Les ratios de fonctions N_2O/CO_2 et NO_3/CO_2 :

Sont étudiés comme indicateurs du niveau de diversification de la communauté microbienne dans un système à l'équilibre. Pour les systèmes perturbés ils représentent l'état d'équilibre à atteindre par une comparaison «systèmes non perturbés» vs «systèmes perturbés».

Les différences d'intensité de chacune des fonctions étudiées constituent en elles-mêmes un outil de diagnostic, leur importance marquant le niveau du fonctionnement du sol. Cependant, ces mesures élémentaires ne sont pas à même d'apporter des renseignements sur la gravité et le caractère potentiellement réversible ou non des modifications fonctionnelles subies par les sols. L'analyse conjointe (approche en ratio) de la manière dont sont affectées ces fonctions portées par des communautés de diversités différentes permet d'exprimer que non seulement l'intensité des flux est susceptible d'être modifiée, mais également leurs proportions relatives traduisant ainsi une profonde modification du fonctionnement du sol. La modification peut donc être non seulement quantitative mais également qualitative. Ceci est évidemment accentué lorsqu'on s'adresse à des fonctions articulées entre elles comme le sont respiration et dénitrification via l'utilisation du C. En particulier, une diminution ou une augmentation du ratio dénitrification potentielle/respiration potentielle traduit un changement dans la

communauté dénitrifiante (qui représente 10 à 20% de la communauté hétérotrophe du sol) en terme d'abondance et/ ou de diversité au sein de la communauté hétérotrophe du sol et donc une modification de la structure de cette communauté. De la même façon, le rapport nitrification/ respiration peut nous renseigner sur l'état de la communauté nitrifiante, car même si elle est capable d'utiliser le gaz carbonique de l'air, elle en rejette une partie par le mécanisme de respiration. Ainsi, ces types de ratio traduisent de manière assez fine des modifications du fonctionnement et de la structure des communautés microbiennes du sol. La pertinence de ce type d'approche a déjà été montrée par Schimann et al (2012).

Dans les systèmes de référence et d'après la typologie du MEA, la quasi-totalité des services écosystémiques rendus sont garantis entre autre par **le maintien des cycles biogéochimiques à l'équilibre**. Ainsi, l'état d'équilibre d'une forêt représente sa capacité à fournir les éléments nutritifs aux plantes d'une manière « économique » en optimisant ses ressources et son énergie (limitation des pertes par la cohabitation de plantes à ammonium et à nitrate (Roggy et al. 1999a, Schimann et al. 2007), 10% d'azote fixé, compensant les pertes par dénitrification (Roggy et al 1999b)...), la matière organique servant à la production d'éléments nutritifs et au stockage de ces éléments (formation d'humus).

Sur le même type d'écosystème, comme celui de la forêt, les valeurs des indicateurs biologiques de la qualité des sols peuvent donc être comparées entre eux car ils marquent bien la capacité des sols à fournir du carbone consommable (respiration) et le niveau de complexité de la microflore microbienne (ratio N_2O/CO_2 , et NO_3/CO_2) caractéristiques de l'état d'équilibre de la forêt. Le ratio NO_3/CO_2 représente la stratégie de la forêt dans sa capacité à pouvoir fournir du nitrate, forme stockable par les plantes mais couteuse en énergie, contrairement à l'ammonium, plus économique mais devant être métabolisé rapidement car toxique.

Dans les études de l'altération des systèmes, la difficulté réside dans l'identification de situations de références pertinentes (*i.e.* ayant eu le même historique que la situation perturbée), c'est à dire dans la possibilité de bénéficier de situations comparatives « systèmes non perturbés » vs « systèmes perturbés » qui permettent d'évaluer le niveau d'altération des services ou des fonctions.

Lorsqu'on peut bénéficier de cette comparaison, il est possible de déduire la logique de fonctionnement du système plus ou moins perturbé durant toute sa période de résilience. Il peut se présenter :

- appauvri sans être fondamentalement perturbé (diminution de la respiration mais les ratios restent constants)
- appauvri avec un changement radical de sa communauté (diminution de la respiration et variation des ratios) ;
- avec une consommation de luxe, utilisant les réserves emmagasinées par la forêt à l'équilibre (augmentation de la respiration) avec variation ou non des ratios suivant la gravité de la perturbation.

Sites d'étude

Le dispositif étudié consiste en 25 parcelles : 11 parcelles de forêts naturelles témoin situées sur un gradient de texture de sols. 4 parcelles de forêts exploitées. 9 parcelles déforestées pour activités agricoles. 2 parcelles de savane.

Sols sableux :

- WAYABO zone B (5°.01'N-52°37'O) : une zone de forêt naturelle témoin, une zone de savane adjacente. Pas de paturage.
- PREFONTAINE (4°.58'N- 52°.29'O) : une zone de forêt naturelle témoin, une zone de savane adjacente cultivée pendant 15 ans avec de l'ananas.

Sols sablo-argileux :

- WAYABO zone G (4°59' N- 52°37'O) : une zone de forêt naturelle témoin, une forêt convertie par déforestation à la pelle mécanique et brulis (1 an). Pas de culture.
- ORGANABO – GUYAFOR : une forêt naturelle témoin (P6) et une forêt exploitée (P6T).
- LA CESAREE : (commune de Macouria, 5° 00'. 13''N – 52° 31'O) : une forêt naturelle témoin, une forêt convertie en prairie après brulis (10 ans), paturée.
- POINTE COMBI : une forêt naturelle témoin, une forêt convertie en prairie de Bracharia (P), une forêt converti en parcelle agricole en rotation Maïs-soja en semis conventionnel (SC) et semis direct (SD). Toutes les parcelles ont subi des amendements NPK et chaulage. Parcelles âgées de 3 ans.

Sols argilo-sableux :

- PARACOU – GUYAFOR : une forêt naturelle témoin (P6) et une forêt exploitée (P4).
- SAINT ELIE : une forêt naturelle témoin, une forêt exploitée en coupe rase (GUYAFOR- ARBOCEL) et une forêt convertie en prairie paturée avec pratique agricole BIO sans engrais (dispositif CARPAG, 20 ans environ).

- MACOURIA : une forêt naturelle témoin et une forêt convertie en prairie paturée avec ajout d'engrais (dispositif CARPAG, 6 ans environ).

Sols argileux :

- SAUT LAVILETTE – GUYAFOR : une forêt naturelle témoin et une forêt exploitée (MANARE I).
- RISQUETOUT (4°.51'N- 52°.38'O) : une zone de forêt naturelle témoin, une forêt convertie par déforestation à la pelle mécanique et brûlis (1 an). Pas de culture.

Résultats /Discussion

Nous avons opté pour une présentation synthétique des résultats (les fichiers de données brutes et les tableaux présentant les valeurs mesurées de chaque bio indicateur pour chacune des situations considérées sont fournis en annexe).

Concernant les forêts naturelles, pour la mise en évidence des différentes stratégies de maintien des cycles biogéochimiques à l'équilibre dans les sols, notre choix a été de mettre en relation la capacité biotique des sols (estimée à partir des mesures de respiration) avec (i) le niveau de diversification de la communauté microbienne des sols (appréhendée via le ratio $N-N_2O/C-CO_2$) et, (ii) la stratégie à pouvoir former du NO_3 (appréhendée via le ratio NO_3/CO_2). L'hypothèse de départ étant qu'un sol avec une « bonne » capacité biotique doit présenter des niveaux élevés de diversification de sa communauté microbienne.

Concernant les systèmes perturbés (forêts exploitées ou changement d'usage des terres) nous avons optés pour une présentation en taux de variation des différents bio indicateurs (exprimés en % de variation par rapport à leur témoin respectif).

Les forêts naturelles

Niveaux de capacité biotique des communautés microbiennes du sol

La **Figure 1** présente les variations de la respiration potentielle (et donc de la capacité biotique des sols) dans les différentes forêts naturelles situées sur le gradient de texture de sols. Le facteur de variation observée est de l'ordre de 5 (de 1 $\mu g/g$ de sol/h à 5 $\mu g/g$ de sol/h) avec environ 80 % des réponses se situant entre 2 et 3.5 $\mu g/g$ de sol/h. Ces résultats se situent dans la gamme des variations observées sur 24 forêts naturelles situées en Guyane et en Amazonie Brésilienne. La valeur extrême observée (5 $\mu g/g$ de sol/h) marque que cette forêt est certainement soumise à des contraintes fortes en termes d'hydromorphie. En effet, les sols de

Préfontaine sont des sols d'îlots forestiers de savane bien connus pour les alternances de périodes d'inondation et d'exondation qu'ils subissent. Cette alternance d'événements favorise l'accumulation de Matière Organique (MO) dans les sols pendant la période pluvieuse et sa décomposition en période sèche. Ainsi, le fort potentiel d'accumulation de MO est étroitement lié aux conditions environnementales très particulières de ces systèmes : milieu saturé en eau durant la saison des pluies, anoxie, oligotrophie. Ces facteurs limitent significativement l'activité des microorganismes et la décomposition des végétaux comme le décrivent Delarue et al. (2010) dans les tourbières. Puis, le drainage des sols en saison sèche (favorisé par la texture sableuse) entraîne des modifications profondes qui se traduisent par une augmentation de la biomasse microbienne et une reprise de son activité globale : décomposition de la MO (respiration) et minéralisation (Laiho 2006).

Pour 80% des forêts étudiées, c'est-à-dire non soumises à des contraintes fortes d'hydromorphie, l'effet texture du sol semble ne pas jouer sur les réponses observées, contrairement à ce que l'on pouvait attendre. En effet, les sols sableux ou sablo-argileux sont connus pour avoir un plus faible pouvoir de rétention de la matière organique que les sols argileux ou argilo-sableux et donc de plus faibles teneurs en C (de 1.2 à 6 % de C ; d'après Freycon et al. Comm. Pers. GUYAFOR). De plus, il est également bien connu que les teneurs en carbone du sol sont des déterminants majeurs de la distribution spatiale des communautés microbiennes et de leurs activités (Epron et al., 2006). Le fait que les métabolismes microbiens soient dépendants du C laissait donc penser à une relation forte entre activités de respiration et type de sols ; ce que nous n'avons pas observé. Dans les sols les plus riches (argilo-sableux, argileux), il semblerait donc que la capacité biotique des sols ne soit pas uniquement reliée à la capacité de ces sols à fournir du C, contrairement aux sols pauvres de type sableux et sablo-argileux. Chez ces derniers, le maintien du cycle du C à l'équilibre reposerait uniquement sur cette capacité. Ces sols fonctionneraient donc à flux tendu avec une minéralisation continue entraînant un faible pouvoir d'accumulation de la MO et des pertes d'éléments minéraux par lessivage. A l'inverse, le maintien du cycle du C à l'équilibre dans les forêts naturelles sur sols riches serait plutôt lié - au-delà d'une valeur seuil de capacité des sols à fournir du C - à un mode de fonctionnement « économique » en termes d'utilisation des ressources qui favoriserait une accumulation progressive de MO. Des études complémentaires sur les teneurs en C total des sols ainsi qu'en C soluble, directement métabolisable par la microflore du sol, restent néanmoins nécessaires pour valider définitivement ces hypothèses.

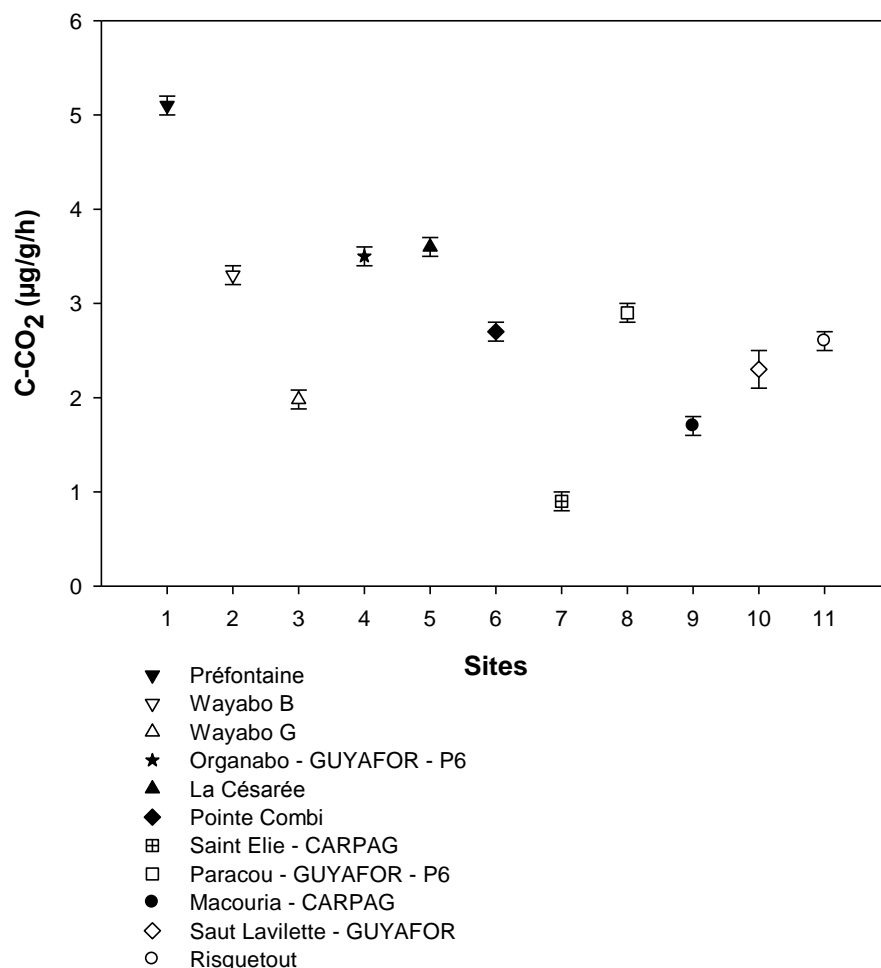


Figure 1. Respiration potentielle de sols de forêts naturelles situées sur un gradient de texture de sols. 1- 2 : sols sableux ; 3-6 : sols sablo-argileux ; 7-9 : sols argilo- sableux ; 10-11 : sols argileux.

Niveaux de diversification des communautés microbiennes du sol

La **Figure 2A** présente la relation entre capacité biotique des sols et niveau de diversification de la communauté microbienne dans les différentes forêts étudiées. Le facteur de variation observée est de l'ordre de 9, avec une proportion de dénitrifiants au sein de la communauté microbienne totale allant d'environ 2% pour les sols les plus pauvres (sableux) à 18 % pour les sols les plus riches (argileux). La littérature fait état d'une gamme de variation allant de 10 % jusqu'à 30 % de dénitrifiants dans les communautés microbiennes pour les sols les plus diversifiés. Ces résultats montrent également qu'à capacité biotique identique, les forêts sur sols pauvres présentent une qualité biologique des sols nettement inférieure à celle des forêts sur sols plus riches en termes de diversité de la communauté. On sait en effet que plus la diversité est importante plus grande est la capacité d'adaptation aux perturbations. Ces résultats confirment donc les hypothèses émises précédemment et semblent opposer les forêts sur sols sableux ou sablo-argileux très peu diversifiées avec des capacités biotiques limitées par le C disponible dans le sol, fonctionnant à flux tendu avec un faible pouvoir

d'accumulation de la MO aux forêts sur sols argilo-sableux ou argileux avec des capacités biotiques non limitées par le C du sol, fonctionnant de façon économique grâce à une microflore très diversifiée qui permet un partage des ressources. Il peut exister bien sur des exceptions comme par exemple la forêt de Saint Elie (sols argilo-sableux) qui présente une capacité biotique très faible certainement liée à des contraintes fortes du milieu (peu de C labile et hydromorphie importante). Ces deux facteurs favorisant les communautés anaérobies types dénitrifiants pour une utilisation de la plus large gamme de C du sol et type nitrifiants anérobies pour la production de nitrate (**Figure 2B**).

La **figure 2B** montre une variation de 0 à 5 % de la proportion des nitrifiants au sein de la communauté microbienne totale dans les différentes forêts. Les valeurs les plus basses étant observées sur sols sableux. Il est beaucoup plus difficile d'interpréter ces variations qui peuvent marquer soit (i) un fonctionnement optimal du cycle du N dans des sols à bonne capacité biotique, bien diversifiés, non limités par le C disponible et non contraints par de l'hydromorphie, soit (ii) des contraintes fortes entraînant la sélection de communautés autotrophes et anaérobies dans des sols limités par le C disponible et soumis à de l'hydromorphie.

Ces résultats apportent de nouveaux éléments sur la qualité biologique des sols des différents forêts étudiées et permettent déjà un premier classement sur la base des hypothèses émises. Ainsi, peuvent être considérés comme ayant une bonne qualité biologique, les sols de forêts présentant :

- *Des respirations potentielles comprises entre 2 et 3.5 $\mu\text{g C-CO}_2$ /g de sol/h*
- *Des proportions de dénitrifiants au sein de la communauté microbienne totale entre 15 et 30%.*
- *Des proportions de nitrifiants au sein de la communauté microbienne totale entre 2 et 4 %.*

Néanmoins des études complémentaires sont nécessaires pour leur validation définitive : analyses physico-chimique des sols, notamment en termes de dosage de C et de N labiles et totaux ainsi que de Matière Organique (MO); analyses plus fines de la structure des sols (% argile, % sable...) et enfin étude des niveaux d'hydromorphie des sols (Drainage bloqué ou non) et des profondeurs utiles des sols.

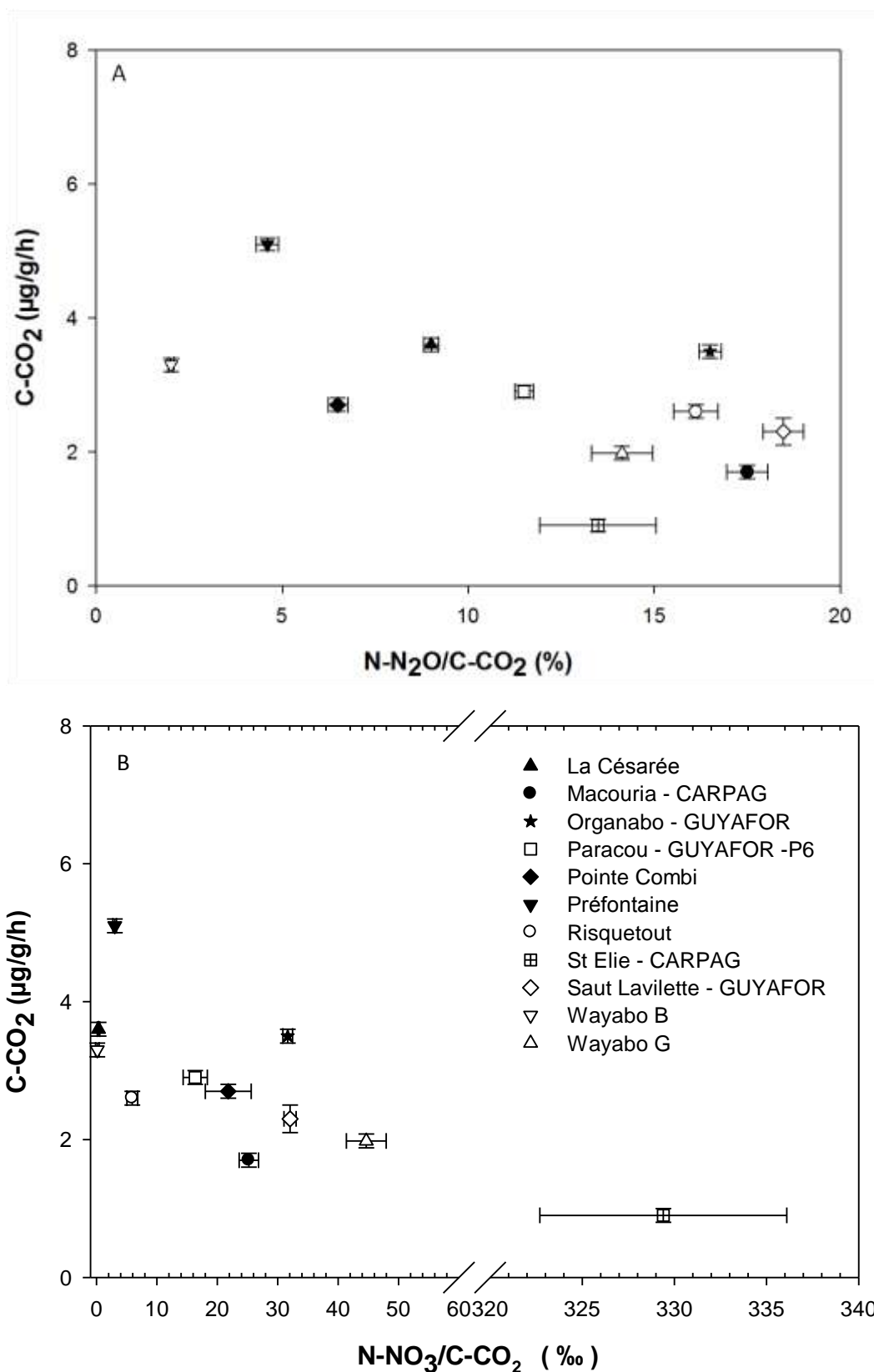


Figure2. Niveaux de diversification de la communauté microbienne du sols (A) et capacité à fournir du NO₃⁻ dans différentes forêts naturelles de Guyane situées sur un gradient de texture de sols.

Les forêts exploitées

Niveaux de capacité biotique et de diversification des communautés microbiennes du sol

Quatre forêts exploitées ont été étudiées. Trois de ces forêts ont des modes d'exploitation relativement similaires (Paracou, Saut Lavilette et Organabo), une forêt a subi une coupe rase (Saint Elie ARBOCEL). Les dates d'exploitation sont de l'ordre d'une vingtaine d'années. Ces forêts appartiennent au dispositif GUYAFOR et sont situées sur des sols argileux (Saut Lavilette), argilo-sableux (Paracou et Saint Elie) et sablo-argileux (Organabo). Elles sont issues, d'après le classement proposé dans le paragraphe précédent, de forêts présentant une bonne qualité biologique de sols. Les résultats sont présentés en taux de variation des différents bio indicateurs (exprimés en % de variation par rapport à leur témoin respectif) à partir desquels il est possible de déduire la logique de fonctionnement du système plus ou moins perturbé durant toute sa période de résilience. Les résultats **Figure 3** montrent clairement que les impacts de l'exploitation forestière sont différents en fonction du type de sols pour les 3 forêts n'ayant pas subi de coupe rase. Pour Organabo, l'exploitation forestière entraîne une réduction de la capacité biotique des sols couplée à un changement dans la structure de la communauté microbienne se traduisant par une légère diminution de diversité totale et une forte augmentation de sa capacité à former du NO_3^- , laquelle pouvant entraîner à terme des pertes importantes de cet élément par lessivage. Pour les deux autres forêts nous constatons plutôt un mode de fonctionnement en « consommation de luxe » par utilisation des réserves emmagasinées par la forêt originelle à l'équilibre. Ce mode de fonctionnement se traduit par une augmentation importante de la capacité biotique des sols, une augmentation du niveau de diversité de la communauté globale (Paracou) et une diminution de la capacité à produire du nitrate (Paracou et Saut Lavilette) évitant ainsi d'éventuelles pertes par lessivage. Il semble donc que ces forêts aient une bonne capacité à se régénérer suite à une exploitation forestière et qu'il serait possible d'envisager un deuxième cycle d'exploitation une fois les équilibres biogéochimiques atteints. En revanche, la forêt sur sols sablo-argileux semble beaucoup plus fragile et un deuxième cycle mettrait certainement en péril sa capacité de régénération.

Les résultats sur la parcelle ARBOCEL (coupe rase) mettent également en évidence une consommation de luxe se traduisant par une augmentation très importante de la capacité biotique des sols, une augmentation de la diversité totale et une diminution de la capacité à produire du NO_3^- . Il est fort probable que la coupe rase a eu un effet fertilisant en terme de matière organique et donc de C dans le sol (décomposition des systèmes racinaires restant). Ce processus, couplé à une diminution de la capacité à produire du NO_3^- et donc à le perdre par lessivage, a contribué sans aucun doute à la régénération de la forêt.

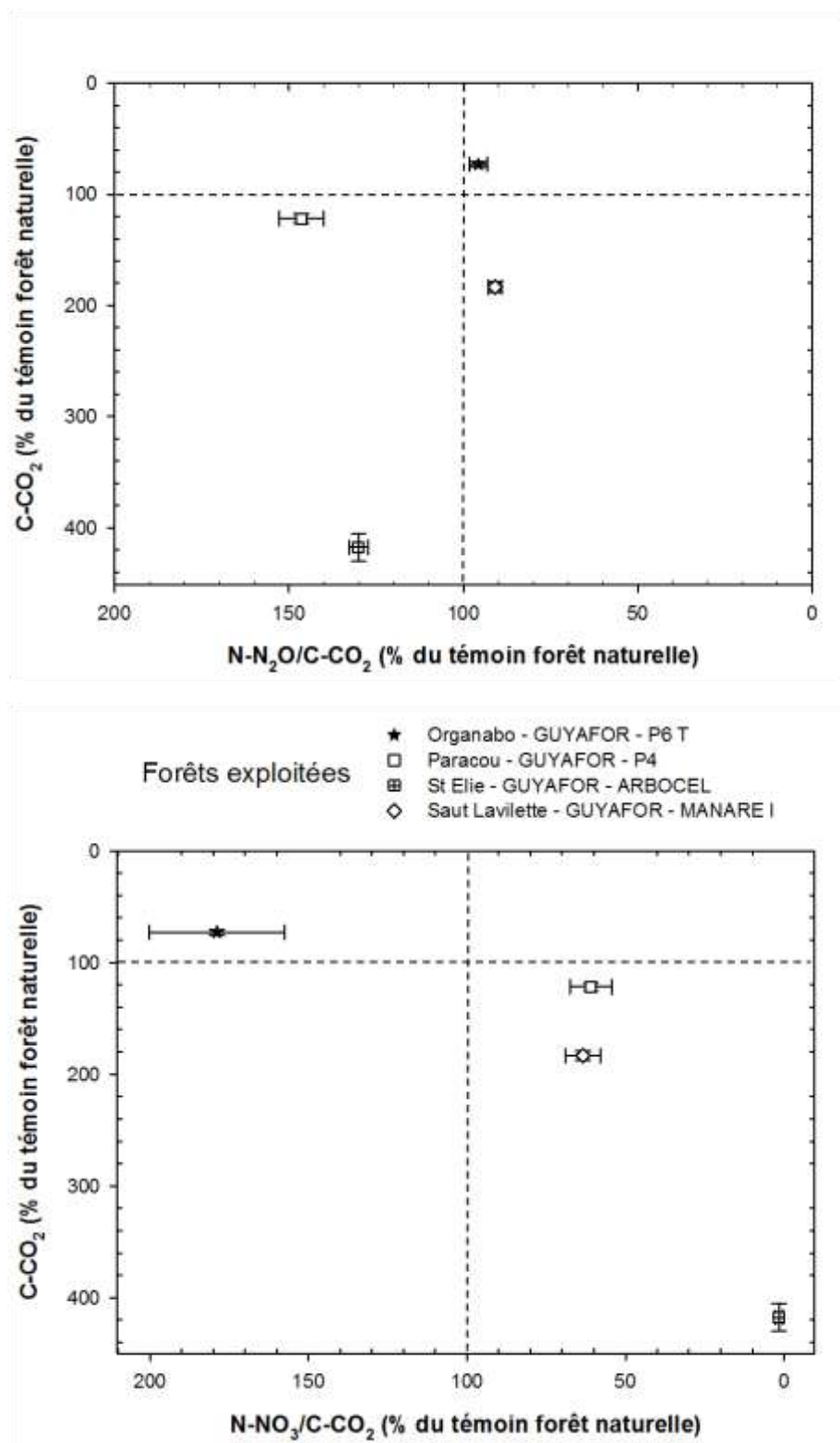


Figure 3. Variation des bio indicateurs (en % du témoin forêt naturelle) dans des forêts exploitées (Organabo : sols salo-argileux ; Paracou et Saint Elie: sols argilo-sableux ; Saut Lavilette : sols argileux)

Ces résultats apportent de nouveaux éléments sur l'impact de l'exploitation forestière en fonction du type de sols et permettent de montrer que les forêts sur sols argilo-sableux et argileux ont de meilleure capacité de résilience que les forêts sur sols sablo-argileux.

Les forêts après changements d'usage

Niveaux de capacité biotique et de diversification des communautés microbiennes du sol

- *Parcelles déforestées sans cultures* (Wayabo G : sols sablo-argileux et Risquetout : sols argileux).

Les résultats **Figure 4** montrent un fort impact de la déforestation sur la qualité biologique des sols, quels que soit le type de substrat. Cet impact se traduit sur les deux types de sols par une réduction des capacités biotiques couplée à des changements dans la structure des communautés microbiennes (diminution de la diversité totale due à une baisse du ratio $N-N_2O/C-CO_2$). En revanche nous observons une augmentation de la capacité à former du NO_3^- sur sols argileux (Risquetout) qui pourrait profiter à la production agricole (choix d'espèces exigeantes en nitrate) ou favoriser sa perte par lessivage.

Ces profondes modifications du « potentiel écologique » de la forêt naturelle en fonction du type de sol devront donc être prises en compte pour les conduites futures de pratiques agricoles. En particulier, dans tous les cas des apports de MO devront être réalisés mais la gestion des intrants azotés devra être différente.

- *Parcelles sur savane* (Wayabo B et Préfontaine : sols sableux).

Ces parcelles présentent les plus faibles capacités biotiques quels que soient le niveau de variation des ratios des autres bio indicateurs (**Figure 4**). Leur utilisation à vocation agricole nécessitera de forts apports en MO, de gros travaux de drainage des sols et des apports conséquents d'intrants.

- *Parcelles de prairie* (Macouria- CARPAG, Saint Elie –CARPAG: sols argilo-sableux; et La Césarée et Pointe Combi : sols sablo-argileux).

Les résultats **Figure 4** sur sols argilo-sableux montrent pour les 2 dispositifs une forte augmentation de la capacité biotique des sols, des modifications profondes dans la structure de la communauté globale (baisse du rapport $N-N_2O/C-CO_2$) ainsi que dans la capacité à produire du nitrate. Les variations observées entre les deux types de prairie sont difficilement interprétables dans la mesure où ces parcelles n'ont pas le même âge et n'ont pas subi des pratiques agricoles identiques (apport d'engrais pour l'une et approche BIO pour l'autre). La sensibilité des bio-indicateurs que nous utilisons permet d'identifier des différences de réponse mais que nous ne pouvons pas rattacher à l'un ou l'autre de ces deux facteurs.

Les réponses observées sur sols sablo –argileux montrent d’importantes variations dans le fonctionnement des sols par rapport au témoin forêt naturelle mais également entre les deux parcelles. Une fois encore le type de pratique agricole a un impact sur les réponses observées et il est très difficile de rattacher les différences observées à l’un ou l’autre des facteurs impliqués (conversion de la forêt en prairie par pelle mécanique puis brulis et pâturage pour la Césarée et conversion de la forêt en prairie non pâturée par la méthode Chop and mulch pour Pointe combi).

- *Parcelles cultivées* (Semis Direct et semis Conventiel Pointe Combi : sols sablo-argileux).

Les méthodes de semis direct ou de semis conventionnel après conversion de la forêt par la méthode « chop and Mulch » semblent être celles qui permettent une bonne récupération de la qualité biologique des sols. En effet, 3 ans après conversion et mise en culture, l’ensemble des bio-indicateurs est globalement au niveau de celui de la forêt originelle.

L’ensemble de ces derniers résultats montrent qu’il est encore très difficile de généraliser l’impact de différents changements d’usages de la forêt sur la qualité biologique des sols et d’en faire une cartographie. En effet, pour une même type de changement d’usage, des différences peuvent être observées en fonction de la pratique employée. Des études complémentaires sont donc nécessaires afin de pouvoir bénéficier de vraies situations comparatives : même type d’usage des terres avec pratique de déforestation identique sur différents types de sols, différents types d’usages avec pratique de déforestation identique sur un même type de sol...

La qualité des sols et la durabilité de leur fertilité sont une condition du bon fonctionnement des écosystèmes forestiers. Aussi, l’usage des forêts à des fins de sylviculture ou leur changement d’usage à des fins de production agricole ne pourra être envisagé que dans la mesure où une attention particulière sera portée aux conditions du maintien des cycles biogéochimiques à l’équilibre dans les systèmes originels.

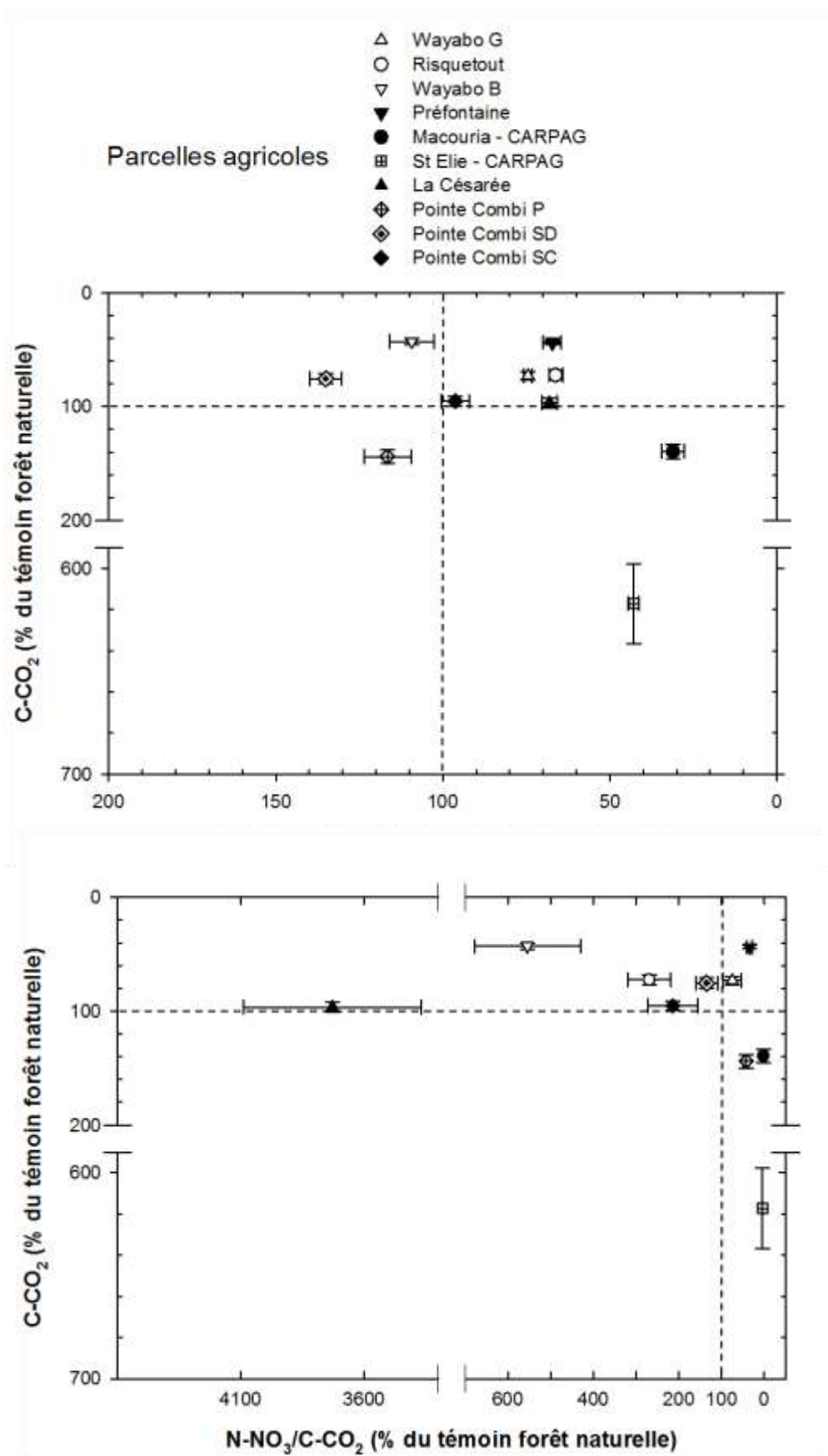


Figure 4. Variation des bio indicateurs (en % du témoin forêt naturelle) dans des forêts après changement d'usage à vocation agricole

Références Bibliographiques

Anderson, J.P.E., Domsch, K.H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biol. Biochem.* 10, 215–221.

Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., García, C., Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., García, C., 2008. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. *Geoderma* 147, 159–171.

Bennett, L.T., Meleb, P.M., Annettc, P.M., Kaseld, S., 2010. Examining links between soil management, soil health, and public benefits in agricultural landscapes: an Australian perspective. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139, 1–12.

Cavigelli, M.A., Robertson, G.P., 2000. The functional significance of denitrifier community composition in a terrestrial ecosystem. *Ecology* 81, 1402–1414.

Epron D., Bosc A., Bonal D., Freycon V., 2006. Spatial variation of soil respiration across a topographic gradient in a tropical rain forest in French Guiana. *Journal of Tropical Ecology*, 22: 565–574.

Falk, S., Liu, B., Braker, G., 2010. Isolation, genetic and functional characterization of novel soil nirK-type denitrifiers. *Syst. Appl. Microbiol.* 33 (6), 337–347.

Laiho R. 2006. Decomposition in peatlands: Reconciling seemingly contrasting results on the impacts of lowered water levels. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 2011–2024

Paetzold, A., Warren, P.H., Maltby, L.L., 2010. A framework for assessing ecological quality based on ecosystem services. *Ecol. Complex.* 7, 273–281.

Ritz, K., Black, H.I.J., Campbell, C.D., Harris, J.A., Wood, C., 2009. Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. *Ecol. Indic.* 9, 1212–1221.

Robinson, D.A., Lebron, I., Vereecken, H., 2009. On the definition of the natural capital of soils: a framework for description, evaluation, and monitoring. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 1904–1911.

Roggy J-C, Prévost M-F, Gourbière F, Casabianca H, Garbaye J, et al. (1999 a) Leaf natural ¹⁵N abundance and total N concentration as potential indicators of plant N nutrition in legumes and pioneer species in a rain forest of French Guiana. *Oecologia* 120: 171–182.

Roggy JC, Prevost MF, Garbaye J, Domenach AM (1999b) Nitrogen cycling in the tropical rain forest of French Guiana: comparison of two sites with contrasting soil types using delta N-15. *Journal of Tropical Ecology* 15: 1–22.

Schimann H, Ponton S, Hättenschwiler S, Ferry B, Lensi R, et al. (2008) Differing nitrogen use strategies of two tropical rainforest late successional tree species in French Guiana: Evidence from ¹⁵N natural abundance and microbial activities. *Soil Biology and Biochemistry* 40: 487–494.

Schimann H, PetitJean C , Guitet S , Reis T , Domenach AM , Roggy JC. 2012. Microbial bioindicators of soil functioning after disturbance: The case of gold mining in tropical rainforests of French Guiana. *Ecological Indicators* 20: 34–41.

Schlöter, M., Dilly, O., Munch, J., 2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agric.Ecosyst. Environ.* 98, 255–262.

Shapleigh, J.P., 2006. The denitrifying prokaryotes. In: Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K.H., Stackebrandt, E. (Eds.), *The Prokaryotes*. Springer Press, New York, NY, pp. 769–792.

Throbäck, I.N., Enwall, K., Jarvis, Å., Hallin, S., 2004. Reassessing PCR primers targeting nirS, nirK and nosZ genes for community surveys of denitrifying bacteria with DGGE. *FEMS Microbiol. Ecol.* 49, 401–417.

Tiedje, J.M., 1984. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.*, 2nd ed. American Society of Agronomy Inc. (ASA)/Soil Science Society of America Inc. (SSSA), pp. 179–244.

Wrage, N., Velthof, G.L., van Beusichem, M.L., Oenema, O., 2001. Role of nitrifier denitrification in the production of nitrous oxide. *Soil Biol. Biochem.* 33 (12–13), 1723–1732.